

Trabajo Fin de Máster

Análisis del software actual y desarrollo de una versión actualizada para la sección de grúas dentro de la asignatura de Transportes y Manutención Industrial

Current software analysis and new updated version development for crane section inside Transport and Industrial Maintenance subject

Autor:

Ignacio Baraza Cebrián

Director:

Luis Castejón Herrero

Análisis del software actual y desarrollo de una versión actualizada para la sección de grúas dentro de la asignatura de Transportes y Mantenimiento Industrial

Resumen

El proyecto, realizado en el marco del Diseño de Vehículos, concretamente en lo referente a las grúas, centra el objetivo principal en analizar el programa para el cálculo de estas, que se emplea actualmente en las prácticas de la asignatura del Máster en Ingeniería Industrial, dentro de la asignatura de Transporte y Mantenimiento Industrial.

Una vez abordado el análisis del software actual se realiza un documento a modo de Manual de Usuario que permita conocer el funcionamiento completo del mismo, del cual, a posteriori, será posible extraer todas sus bondades y áreas de mejora, que se pretenden implementar y mejorar en la nueva propuesta.

Tras finalizar el análisis primero, y después haber continuado con el funcionamiento del programa, el presente documento incluye toda la carga teórica en la que se basa este. Este apoyo teórico sirve para completar el conocimiento sobre los cálculos que realiza y así puedan ser mantenidos, como criterio de diseño, en la nueva propuesta a desarrollar.

Teniendo en cuenta la referencia actual, con su funcionamiento para el usuario y el contenido de cálculo que implica, se prosigue con la realización de un boceto que predefina el aspecto y posible funcionamiento de la nueva propuesta. Este sirve como primer paso de diseño para establecer la distribución de los diferentes apartados, lugar donde el usuario introduce los datos, navegación a través de este, resultados, etc. Sin el mismo, la programación sería errática y no estaría definido el alcance del proyecto. Es una herramienta que sirve de concreción y definición, un básico dentro del desarrollo software, la definición, lo más concreta posible por parte del cliente de las especificaciones del programa que desea.

Una vez esta primera aproximación está definida, se procede con la parte referente al código. En este caso se ha basado en un desarrollo web (html para la estructura, css para el formato y javascript para los cálculos). De esta manera, es posible un funcionamiento en servidores web, con un acceso posible desde cualquier dispositivo con acceso a internet y, como en este caso, también es posible el encapsulado del mismo para realizar una aplicación de escritorio que se pueda emplear de manera local sin necesidad de conexión.

Por último, una vez realizados todos los puntos anteriores, se procede con el testeo y prueba del nuevo programa. Se detectan todos los posibles fallos y mejoras para que primeramente funcione de manera correcta con respecto a los cálculos teóricos y después sea un programa fácil de usar y con todas las funcionalidades deseadas y definidas previamente en el boceto.



Tabla de contenido

Introducción	6
Presentación.....	6
Objetivo	7
Alcance	8
Situación Inicial	9
Cálculo teórico.....	11
Mock Up	12
Desarrollo y Testeo	15
Conclusiones	16
Bibliografía	17
 ANEXO I: MANUAL DE USUARIO	 19
INTRODUCCIÓN	19
MENU PRINCIPAL	19
SUBMENU GANCHOS	20
SUBMENU CUCHARAS	21
SUBMENU SPREADERS	23
SUBMENU CABLES.....	25
SUBMENU POLEAS	28
SUBMENU TAMBOR	30
SUBMENU APAREJO	31
SUBMENU RODADURA.....	32
SUBMENU MOTORES	34
 ANEXO II: CÁLCULOS TEÓRICOS.....	 39
INTRODUCCIÓN	39
SUBMENU GANCHOS	40
SUBMENU CUCHARAS	41
CÁLCULO DE SPREADERS.....	43
CÁLCULOS DE CABLES.....	46
CÁLCULO DE POLEAS	49
CÁLCULO DEL TAMBOR	51
CÁLCULO DEL APAREJO	56
SUBMENU RODADURA.....	57



SUBMENU MOTORES	61
ANEXO III: EJERCICIO PRÁCTICO	65
SPREADER.....	65
CUCHARAS.....	68
Ganchos/Cables.....	69
Poleas	72
Aparejos	76
Tambor	78
Motores.....	81
Rodadura	83
Carril	84
ANEXO IV: LISTA DE TÉRMINOS	86
Terminología	86
Terminología Letras Griegas.....	89
Unidades de Medida	90

Introducción

Presentación

El proyecto nace con la motivación de la asignatura de Transportes y Mantenimiento Industrial del Máster de Ingeniería Industrial de realizar un proyecto dentro de la sección de grúas de esta. A partir de aquí, se ha realizado un proyecto de mejora y actualización del software que actualmente se emplea en las prácticas para entender y calcular problemas.

El origen de la propuesta de este proyecto surge de la necesidad de actualizar el programa que se emplea actualmente, ya que se trata de un desarrollo que se realizó hace unos años por parte de dos alumnos, también como trabajo de fin de estudios. Tanto el formato como el funcionamiento de este se adecúa al software que se desarrollaba y empleaba hace años, en concreto hace casi veinte años. No solamente por el carácter estético sino también por la compatibilidad con los nuevos equipos y con el aprendizaje inherente a las nuevas generaciones que están acostumbradas a formatos más actuales. En el futuro, este mismo ejercicio se volverá a realizar, seguramente por otros alumnos, para volver a adecuar el presente proyecto que habrá quedado obsoleto.

La solución actual consta de un menú principal que permite al usuario navegar por los diferentes submenús de manera salteada, aunque al mismo tiempo, es posible acceder menú tras menú según el orden lógico de cálculo teórico, por lo que asiste al usuario de manera razona para poder completar el problema de manera correcta. Además, se ejecuta a partir de un acceso directo de manera local dentro del dispositivo en el que se haya instalado previamente, por lo que no es posible acceder al mismo desde cualquier otro dispositivo que no lo tenga instalado, con todos las ventajas y desventajas que supone.

A partir de aquí, se analiza tanto el funcionamiento y estructura del programa actual, como del contenido teórico que implica para poder funcionar de manera correcta.

Todo lo anterior ha permitido desarrollar un boceto de un nuevo programa que posteriormente se ha llevado a cabo y testado con la intención de poder ser empleado en las futuras prácticas de la asignatura y sustituir así al actual como actualización de este manteniendo las mismas funcionalidades y bondades.

Objetivo

Actualmente, el programa es un desarrollo previo de otros alumnos del centro que realizaron como trabajo de fin de estudios hace unos años. El programa tiene un formato basado en tablas (Excel).

Así, se plantea mejorar la interacción del software con el usuario permitiéndole a este una navegación más intuitiva, con la eliminación del mayor número posible de botones que actualizaban el valor resultado, por una actualización en tiempo real, siempre y cuando se hayan introducido todos los valores de entrada necesarios para realizar los cálculos. De esta forma, al igual que en la mayoría de las aplicaciones actuales, los resultados son autocompletados conforme el usuario introduce los datos de problemas. Con ello, unido a una actualización del aspecto, hará que el usuario sea capaz de conseguir los mismos resultados (correctos según la teoría de grúas) de una forma más cómoda y rápida, permitiendo a este, un mayor cálculo de problemas de grúas o mayor número de iteraciones en el mismo.

Por ello, los objetivos planteados en el presente trabajo, considerando la solución actualmente empleada, son los siguientes:

- Actualizar el formato para adecuarlo al aspecto de las aplicaciones actuales.
- Mejorar la experiencia del usuario, tanto desde el punto de vista de las aplicaciones de hoy en día, como del funcionamiento que permita al usuario calcular de manera más rápida y cómoda los resultados respectivos a los problemas de grúas.
- Mantener todas las bondades del programa actual y evitar la pérdida de funcionalidades que destacan del mismo y que ha permitido emplearse como programa de referencia en el cálculo de grúas en las prácticas durante varios años.
- Asegurar el buen funcionamiento y rigor con el cálculo teórico para que pueda ser una herramienta empleada dentro de la asignatura con fines docentes de manera adecuada.
- No modificar en exceso el aspecto y funcionalidad general del programa para favorecer la adaptación desde está a la nueva solución, tanto por parte del profesorado como los alumnos.

Alcance

Se dispone del programa que actualmente se emplea en las prácticas de la sección de grúas, dentro de la asignatura de Transportes y Manutención Industrial. Con ello la actividad inicial del presente proyecto es analizarlo para poder obtener el funcionamiento completo del mismo, sus ventajas, sus desventajas y la estructura en la que se desarrolla.

Tras este primer análisis, se realizará un manual de usuario a partir del paso a paso en la experiencia de usuario. Con ello será posible conocer, por un lado, todos los cálculos teóricos que se realizan en cada uno de los submenús del programa y, por otro lado, los diferentes formatos del mismo que definen el funcionamiento.

Conociendo la situación actual será posible un mejor enfoque de la nueva solución requerida. Previo a ese paso se procederá a un análisis del cálculo teórico, ya que el programa no muestra en su totalidad todas las tablas y fórmulas que se emplean en un segundo plano para obtener los resultados. Por ello, junto con todo el contenido teórico y de problemas disponible dentro de la asignatura se procederá con un resumen de los mismos. De esta forma también será más sencillo, conocer todos los cálculos que serán necesarios programar, ya que a través del código de programación de la situación actual.

Tras conocer completamente el funcionamiento y experiencia del programa junto con todos los cálculos que se realizan, y es necesario realizar, será posible enfocar el aspecto y funcionalidad de la nueva solución. Este se realizará a través de una aplicación de mock ups (término que suele emplearse en el mundo de la programación para maquetar el diseño y funcionamiento de un programa de manera rápida y sin la necesidad de realizar el desarrollo completo). Con ello se obtendrá una presentación que, a modo de diapositivas y enlaces será posible simular el funcionamiento y aspecto del nuevo software.

A continuación, una vez validado el mock up de la nueva solución se procederá con el desarrollo y codificación. Este, se basará en el lenguaje web de html para estructurarlo, css para el formato y javascript para los cálculos. Es un funcionamiento habitual actual en el desarrollo de soluciones web como páginas o aplicaciones web. Después, siempre es posible, para evitar la necesidad de conexión y servidores web se puede comprimir en un ejecutable local como cualquier otro programa instalada en el ordenador. En este caso se buscará esta última solución, todo empaquetado en una sola carpeta que permita la fácil instalación (simplemente con disponer de dicha carpeta en el ordenador) y utilización.

Por último, se procederá con las pruebas y testeo del nuevo programa para asegurar un correcto funcionamiento de acuerdo con la parte teórica. Además de depurar el programa y descubrir fallos o problemas, se realizarán modificaciones que permitan una mejor experiencia de usuario (como objetivo principal del presente proyecto).

Situación Inicial

Como se ha adelantado en las primeras fases del presente proyecto, la actual solución empleada fue un desarrollo realizado por dos alumnos como trabajo de final de estudios. Este tiene un desarrollo basado en tablas, como sea solía realizar años atrás.

Se trata de una aplicación de escritorio que trabaja localmente a partir de un ejecutable. Se instala a partir de un instalable que consiste en una carpeta con todo el contenido del programa (encapsulado).

Una vez se accede al programa, este se estructura a partir de un menú principal y una serie de submenús para cada uno de los elementos de las grúas. Además, cuenta con un botón adicional para poder salir y cerrar el programa. Conforme se van accediendo a cada uno de los submenús aparece todo el contenido relativo a dicha parte.



Ilustración 1: Menú principal. Programa de Grúas-Elementos

Como se explicará más adelante en el *Anexo II Cálculos Teóricos* el orden lógico de cálculo para las grúas consta de recorrer paso a paso cada una de las partes de la grúa desde la carga hasta el suelo. Con todo ello se comenzaría por: el gancho y aparejo, cucharas o spreader, cables, poleas, tambor, motores y rodamiento; estos dos últimos hace referencia tanto a la elevación como a la traslación, del carro y de la propia grúa.

El programa permite al usuario, de manera parcial, poder acceder a cada uno de los submenús de manera independiente sin un cálculo consecutivo, ya que muchos de los valores a introducir están bloqueados si no se han realizado cálculos previos, por lo que, ante problemas que ya facilitan ciertos valores intermedios de cálculo, no permite realizar los cálculos si no se accede a los submenús previos y se introducen los datos que generan los valores predeterminados por el problema. Junto con ello, la solución actual

guía al usuario a proseguir el cálculo en un orden que, aunque útil en algunos casos, en otros puede resultar un impedimento y un retraso en el cálculo general del problema. De manera adicional, el programa cuenta con una serie de botones de selección para poder seleccionar el idioma del programa, pero únicamente se encuentra implementado para el menú principal pero no para el resto de los submenús. Para la nueva versión no se plantea implementar ninguna diferenciación de idioma.

La solución es capaz de realizar todos los cálculos, desde los ganchos hasta la rodadura, todos de manera correcta y siguiendo fielmente los cálculos teóricos y tablas. Aunque es cierto que muchos de ellos deben obtenerse tras hacer click en un botón de “calcular”. Esto se debe principalmente a que está diseñado y desarrollado en un lenguaje y con un criterio que es el propio botón el que analiza los datos que se han introducido previamente y realiza el cálculo una vez se presiona el botón. Todo ello supone una serie de interacciones con el ratón para el usuario mayor que si simplemente rellenando los valores. Por ello, este va a ser uno de los puntos a considerar y que se pretende mejorar en la nueva versión actualizada.

Además, se suprimirá del nuevo software, en busca de una experiencia más pragmática para el usuario, será eliminar la pantalla intermedia previa a la aparición de los submenús, que han sido colocados como elemento decorativo y pantalla de carga.

Por otro lado, tanto los colores como el formato de introducción de datos y resultados (cajas blancas para la introducción de datos y amarillas para los resultados) se va a emplear como inspiración para el nuevo programa y de esta manera no realizar un cambio brusco. De esta manera, la nueva solución recordará indirectamente al actual, lo que facilitará la adaptación.

Todo el análisis puede observarse de una manera más pormenorizada dentro del *Anexo I Manual de Usuario*, en el que se realiza un problema tipo paso a paso empleando el software actual y analizando cada una de las partes que contiene, tanto en la introducción de datos como en los resultados. Además, se valoran cada una de las posibilidades que se pueden dar, tanto en el menú como en cada uno de los submenús, considerando todos los caminos disponibles por el usuario, como si de un árbol de decisión se tratase.



Ilustración 3: Pantalla de carga Gancho. Programa Grúas-Elementos

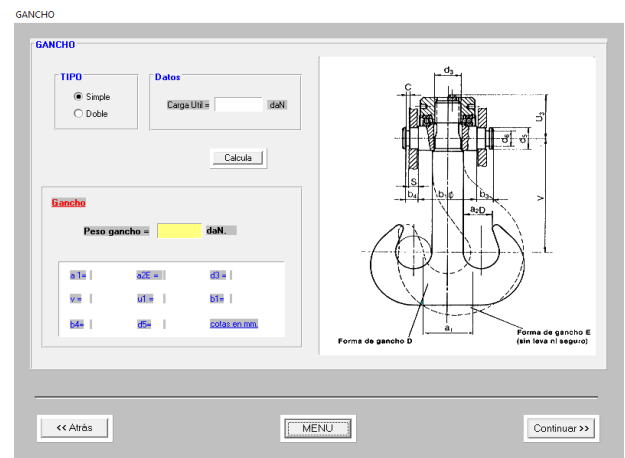


Ilustración 3: Submenú Gancho. Programa Grúas-Elementos

Cálculo teórico

Para el presente aparatado se revisarán los cálculos, tablas y fórmulas que se emplean para cada uno de los elementos de la grúa. Se comenzará desde aquellos que directamente está en contacto con la carga. Después se continuará de manera consecutiva hasta llegar al suelo.

Por ello, primeramente, se analizarán los ganchos, cucharas o spreader. En función de la carga a elevar el elemento empleado es diferente debido a la diferencia del tipo de agarre.

Posteriormente se prosigue con el aparejo, cables, poleas y tambor. Todos aquellos que soportan los elementos de sujeción y que sirven como auxiliares del enrollamiento y movimiento de elevación de la carga, es decir, desde el punto de carga/anclaje en el suelo hasta una altura de elevación, bien segura para su movimiento, o como posición final.

Por último, se terminan revisando todos aquellos referidos a motores y carriles (rodadura). Considerando la elevación y la traslación; para la parte referida al carro (elevación por parte del motor que está montado en este como el que sirve de traslación a lo largo de la estructura horizontal de la grúa para desplazar la carga a lo largo de la misma) y referida a la propia grúa (ruedas y motores que permiten el movimiento de la grúa, de la estructura completa, siempre y cuando la grúa tenga dicha capacidad, ya que existen grúas como las giratorias o las montadas en camiones en las que no aplica el cálculo).

Todos los cálculos y análisis detallados para estos se centran en el *Anexo II Cálculos Teóricos* en el que submenú por submenú, siguiendo la estructura del programa que se emplea actualmente,

De manera resumida, el cálculo de grúas se centra en la introducción de ciertos datos por el usuario. Estos deben considerarse para ser introducidos como valor de una tabla para poder después obtener otro valor. En ciertas ocasiones, el propio valor que se ha obtenido en la tabla es el resultado buscado, en otras, ese junto con otros introducidos por el usuario se deben considerar para introducir en las fórmulas. Como ejemplos respectivos, de lo comentado anteriormente podría considerarse: el valor de la carga a elevar que introducida en la carga respectiva se obtiene el tipo de gancho capaz de soportarlas; por otro lado, tras introducir el valor del diámetro del cable, y los valores de h_1 y h_2 de la tabla, se obtiene el resultado del diámetro de la polea.

Mock Up

En el presente apartado de la memoria del proyecto se analizará el boceto realizado para definir, como parte del alcance, el formato y funcionamiento que el nuevo programa tendrá.

Para ello se ha empleado la aplicación [Mockplus Classic](#). Este programa permite la creación de manera sencilla y rápida una aproximación del programa a desarrollar de forma bastante aproximada. La herramienta permite seleccionar el formato deseado, por lo que se pueden realizar diseños tanto para dispositivos móviles, tabletas, ordenadores, etc. y en diferentes resoluciones.

La interfaz básica de este se basa en una serie de iconos, organizados según un árbol de familias, que permite al usuario seleccionar y colocar de manera intuitiva en la zona de trabajo. Principalmente se trata de iconos estandarizados y comunes con los que estamos familiarizados (por ejemplo, el icono del engranaje para hacer referencia a los ajustes de la aplicación) y de formas geométricas sencillas. Además, es posible añadir las fotos deseadas, por lo que la personalización es total. Al mismo tiempo, estos iconos, formas e imágenes pueden modificarse, no solo en posición, sino también en tamaño y color.

Por otro lado, es posible definir una serie de interacciones, tanto en la funcionalidad como en el formato, de todos los elementos que conforman el bosquejo de la aplicación. Mediante una estructura de capas, animaciones y efectos es posible hacer que aparezcan nuevas ventanas, cambien los colores al hacer click, se muevan los elementos...entre otros. Se asemejaría al funcionamiento que podría llegar a conseguirse mediante otro programa más popular como es Power Point. Se crearía una estructura de presentaciones interactivas que, a través de sus elementos permite ir saltando entre diapositivas y vínculos.

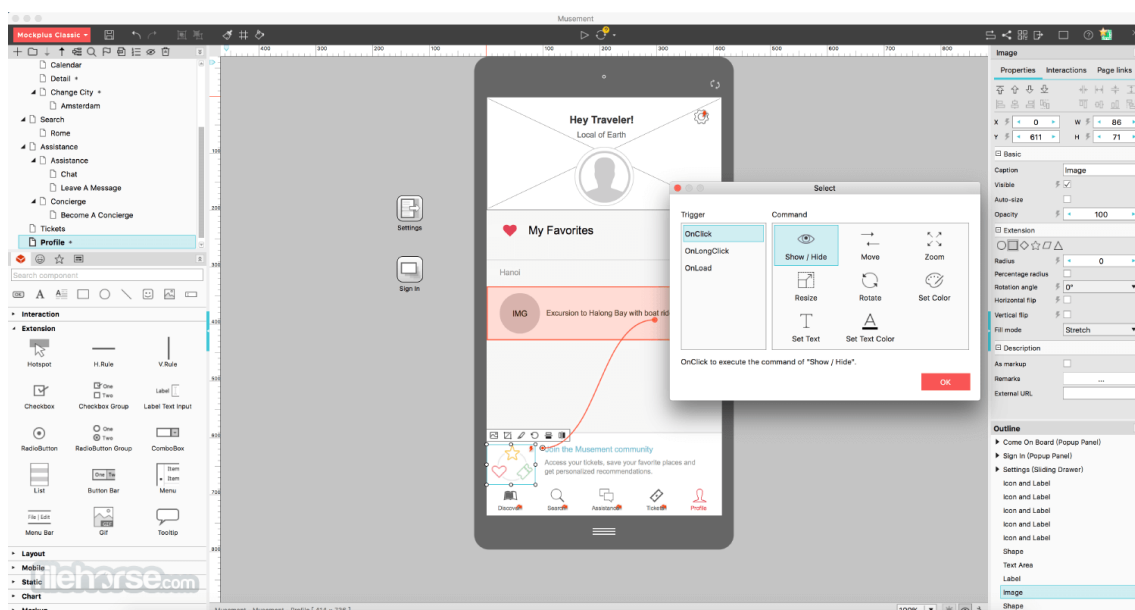


Ilustración 4: Interfaz de Mockplus Classic

Aprovechando las bondades de la herramienta se define la nueva versión del programa. Como se ha comentado anteriormente, en cuanto al formato, se han mantenido los colores y el código para la introducción de datos y los resultados. Por ello, se ha estructurado en 5 zonas principalmente:

- Aside (lateral) = consiste en un menú lateral con acciones transversales como son el menú (home), buscar y ajustes. El primero de ellos se plantea como una desplegable para poder guardar los datos, abrir archivos guardados previamente, etc. El segundo de ellos mostrará una caja de texto en la que el usuario puede introducir una palabra clave para buscarla dentro del programa. El tercero se trata de un acceso a todos los ajustes posibles como podría ser la resolución, los colores, el idioma, etc.
- Head (Título) = la parte superior consta del título del proyecto en el margen izquierdo y en lado derecho la información del usuario. Esta última parte se plantea, pero no se desarrollará, se coloca considerando que en algún momento puede ser una aplicación web en la que diferentes usuarios puedan acceder y personalizar, recuperar archivos, etc.
- Body (cuerpo) = es la parte principal del programa donde se encuentra una imagen de una grúa a modo de esquema en el que se puede revisar y seguir cada uno de los elementos. Además, cuenta con un menú en el margen inferior izquierdo para poder ir accediendo a cada uno de los elementos.
- Frame (ventana) = es el espacio principal donde se desarrolla la actividad del programa. En esta zona van a apareciendo cada uno de los submenús en los que se introducen y calculan los valores del problema.
- Bottom (pie) = esta última parte corresponde con el pie del programa en el que se incluye información relativa al copyright del autor, programa, asignatura y estudios.

Además, heredando parte del funcionamiento de la situación actual, junto con ciertos formatos y colores, ciertos valores que han sido introducidos por el usuario, y otros derivados de los cálculos se almacenarán localmente cada vez que se abra el programa para mejorar la experiencia de usuario y no sea necesario introducirlos varias veces en el programa en diferentes submenús.

Este mock up sirve como esquema para el desarrollo y como alcance definido por el cliente, en un uso laboral, en este caso por el docente, para que, por un lado, el cliente sea capaz de ver y definir de forma rápida el alcance de lo que desea y el programador reciba todos los criterios de diseño de la mejor manera posible. Así se obtendrá un resultado lo más aproximado posible, en un número mínimo de iteraciones.

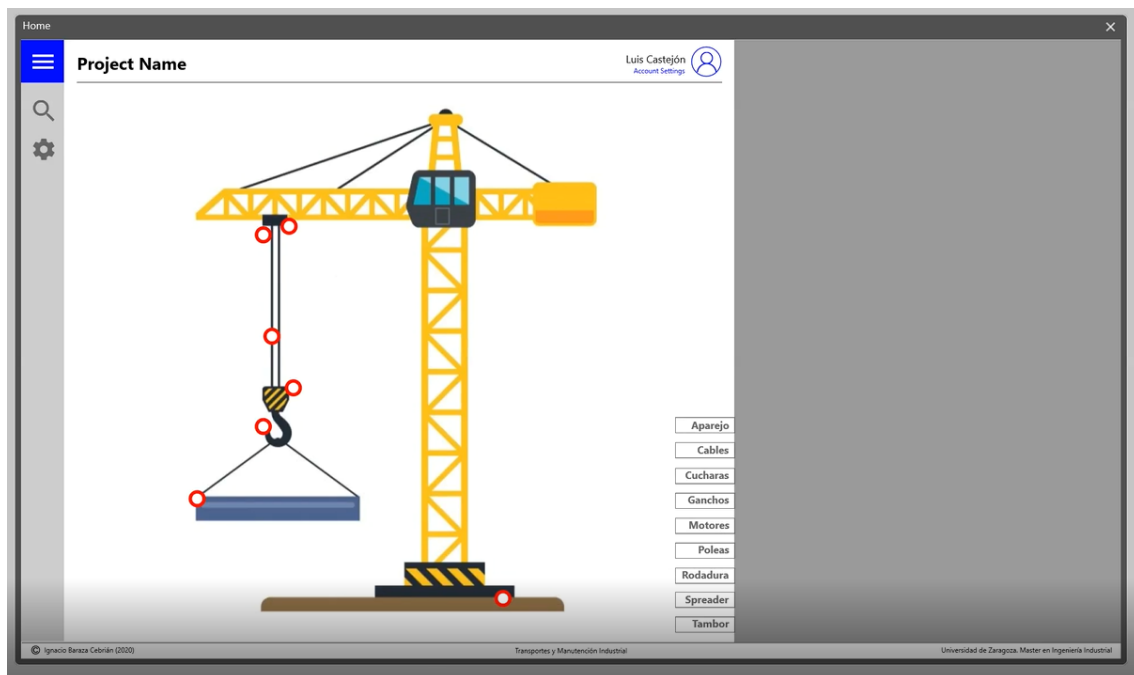


Ilustración 5: Menú principal. Mock Up nuevo programa Grúas-Elementos

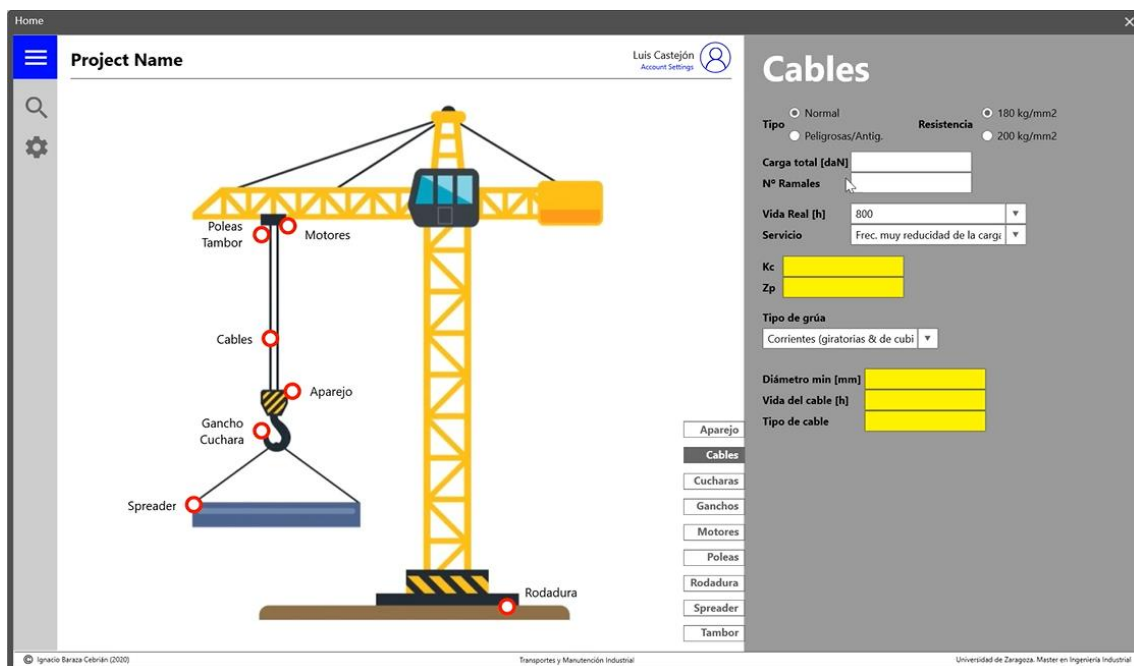


Ilustración 6: Submenús. Mock Up nuevo programa Grúas-Elementos

Desarrollo y Testeo

Una vez finalizado el mock up, se procede a su aprobación y modificaciones. Estas primeras iteraciones se realizan de una manera más rápida y sencilla (y con un menor coste, en el mundo laboral). Una vez se ha llegado a un acuerdo por el aspecto y funcionalidad del mismo se procede con el desarrollo. Estas iteraciones iniciales no implican que no vayan a producirse modificaciones en el futuro. Simplemente terminan de cerrar el alcance del presente proyecto. En muchas ocasiones, sobre todo derivadas del uso de las mismas, las aplicaciones sufren cambios, ya que es en ese momento cuando se mejor se aprecian y aparecen las mismas.

Como se ha comentado anteriormente la aplicación se desarrolla en lenguaje HTML (HyperText Markup Language, Lenguaje de Marcas de HiperTexto), típicamente empleado en el desarrollo de páginas web. Se trata de un estándar de referencia del software para páginas web en sus diferentes versiones y navegadores. La principal característica del mismo es que no todos los elementos se incluyen dentro del código, sino que gracias a diferentes referencias estos se encuentran fuera y simplemente son “llamados” en el momento y lugar concreto. El código en sí simplemente contiene texto, es el navegador (compatibilidad con todos ellos) el encargado de enlazar todas las partes y referencias a las que dicho texto alude.

Por otro lado, CSS (Cascading Styles Sheets, Hojas de Estilo en Cascada) es el lenguaje de diseño gráfico empleado para dar el formato al anterior código estructura en HTML. Siguiendo la estandarización y las características de este tipo de programación, todo el formato se encuentra fuera del código principal con lo que en el funcionamiento del mismo es cuando se aplica dicho formato. Con ello se definen el diseño e interfaz del código. Esto permite poder reutilizar dicho código para dar el mismo formato a elementos similares de diferentes archivos HTML.

Finalmente, con JAVASCRIPT, un lenguaje de programación interpretado, es decir, capaz de analizar y ejecutar otros programas en lugar de simplemente traducir su descripción como otros compiladores o ensambladores. De manera resumida, se considera principalmente como un lenguaje orientados a objetos, por lo que es capaz de interactuar con dichos objetos que tratan los valores de entrada y devuelven los de salida tratándose como funciones.

La principal bondad de estos desarrollos es la estandarización, ya que cualquier navegador, y cualquier versión del mismo, es capaz de interpretarlo y representarlo. Por ello, es relativamente sencillo hacer un desarrollo adaptativo para diferentes plataformas. En el caso del presente proyecto, se ha optado, debido a la simpleza y la imposibilidad de asegurar una buena conexión a internet de los equipos, el encapsulamiento de la aplicación convirtiéndola en un ejecutable.

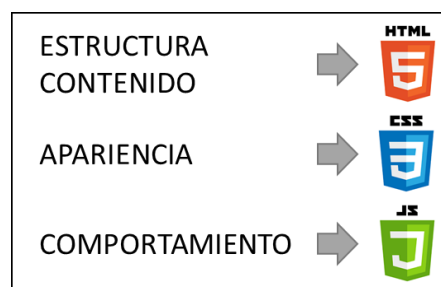


Ilustración 7: Programación WEB

Conclusiones

Finalmente, tras completar el desarrollo, el aspecto y funcionalidad conseguido es muy similar al que se planteó inicialmente en el mock up.

Como se expresó anteriormente, tanto el menú lateral como la parte referente al head ha quedado pendiente de una nueva versión que termine implementando dichas funcionalidades.

Aunque se han realizado diversas pruebas (algunas de ellas plasmadas en el *Anexo III: Ejercicio práctico*), de manera individual con este último, se va a proseguir comprobando y realizando problemas para terminar de asegurar que no existe ningún fallo que ponga en peligro la integridad del resultado. De esta manera, en cuanto finalmente no se encuentren más fallos en su funcionamiento podría considerarse como una versión cerrada y, si se considerase, emplearse como nuevo programa en las prácticas grúas de la asignatura del máster en Ingeniería Industrial de Transportes y Mantenimiento Industrial.

Como un segundo paso o evolución, se podría considerar, aunque en este caso se ha optado por encapsular la solución, en modificar el diseño web y hacerlo adaptativo para diferentes plataformas. Estas modificaciones, permitirán otras tantas opciones como podría ser un acceso vía web a través de un servidor, acceso desde móviles y tabletas e incluso encapsularlo para un formato móvil y poder proporcionarlo a cualquier usuario a través de Play Store o Apple Store.

Considerando el alcance del presente proyecto y los objetivos marcados al principio, se podría considerar que se han conseguido todos. El programa ha sido actualizado, manteniendo un formato similar al anterior, pero con una mejor interacción para el usuario, es funcional y realiza todos los cálculos de manera correcta.

Bibliografía

- Grúas (1996) – Emilio Larrodé y Antonio Miravete [libro]
- Transportadores y elevadores (1996) – Emilio Larrodé y Antonio Miravete [libro]
- Los transportes en la ingeniería industrial – teoría (1996) – Antonio Miravete, Emilio Larrodé, Luis Castejón y Jesús Cuartero [libro]
- Los transportes en la ingeniería industrial – problemas y prácticas (1996) – Antonio Miravete, Emilio Larrodé, Luis Castejón y Jesús Cuartero [libro]
- Grúas-Elementos - Javier Pereira y Jorge Recasens [programa]
- HTML, CSS y JAVASCRIPT (2020) – Soy Dalto [canal YouTube]
https://www.youtube.com/channel/UCtoo4_P6ilCj7jwa4FmA5lQ



ANEXO I: MANUAL DE USUARIO

INTRODUCCIÓN

Este Anexo tiene como finalidad desarrollar las funciones incluidas en el software actual de Grúas-Elementos.

Lo que se pretende, a modo de Manual de Usuario, es mostrar todas las capacidades del programa, capaz de realizar el cálculo de grúas y sus elementos.

La aplicación permite al usuario introducir una serie de datos que, junto con las tablas maestras y formulación asociada dentro de la misma, permiten realizar los cálculos anteriores paso a paso.

MENU PRINCIPAL

Una vez que se accede al programa aparece la pantalla de inicio:



Ilustración 8: Pantalla de Inicio - Menú. Programa Grúas-Elementos

En orden se observan los diferentes botones:

Idioma: permite seleccionar entre español (por defecto), inglés y francés. De esta manera el menú, según la selección cambia su apariencia.

Submenús: cada uno de los botones que hacen referencia a los diferentes elementos de las grúas permiten acceder a sus propios menús dedicados.

Salir: botón que permite salir y cerrar el programa, ya que el programa maximiza

SUBMENU GANCHOS

Después de haber pulsado en el botón correspondiente a Ganchos se accede a su submenú. Todos ellos guardan un mismo formato con una barra inferior con tres botones diferentes:

Atrás: vuelve al submenú del elemento anterior, es decir al calculado previamente. En caso de ser el primero vuelve al menú principal.

MENU: accede directamente al menú principal.

Continuar: pasa al siguiente submenú, es decir al elemento de cálculo posterior. En caso de ser el último vuelve al menú principal.

El resto de la pantalla se estructura en 3 zonas:

- En la **parte superior izquierda** se realiza la introducción de datos. Con un criterio a lo igual a largo de todo el programa de fondo blanco para las celdas en las que es necesario aportar los datos del problema:
 - Simple/Doble: permite seleccionar entre dos tipologías de ganchos.
 - Carga Útil: lugar donde es necesario introducir el dato del problema expresado en [daN].
 - Calcula: botón que realiza el cálculo mediante las tablas (*Anexo II Cálculos Teóricos*).
- En la **parte inferior izquierda** se representan todos los parámetros (*Anexo II Cálculos Teóricos*) calculados a partir de la tipología del gancho y la *Carga Útil*.
- En la **parte derecha** se observa un croquis de un gancho genérico con una notación para las cotas que permite entender cuál es cada una de las medidas que tiene el gancho seleccionado y que se ha obtenido en el cálculo anterior.

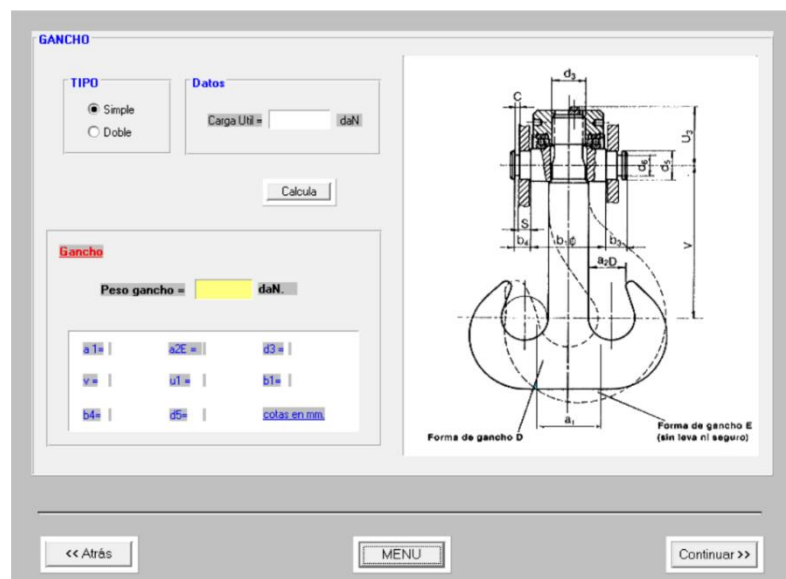


Ilustración 9: Submenú Ganchos. Programa Grúas-Elementos

SUBMENU CUCHARAS

Correspondiente a las Cucharas, además del formato normalizado para la parte inferior, se divide en 6 zonas diferenciadas:

- En la **parte superior izquierda** es posible seleccionar el *Tipo de Cuchara* (*Anexo II Cálculos Teóricos*) distinguiendo entre:
 - Cucharas de dos o cuatro cables: con esta opción seleccionada habilita la parte superior central (*Densidad Aparente*) y la parte superior derecha (subgrupo dentro de *Cucharas de dos o cuatro cables*).
 - Cucharas de un cable: habilita exclusivamente la parte izquierda (*Capacidad cuchara*) marcando el límite característico de esta.
 - Cucharas eléctricas: habilita exclusivamente la parte izquierda (*Capacidad cuchara*) marcando el límite característico de esta.
- En la **parte superior central** permite introducir en [Tm/m^3] la *Densidad Aparente* para las *Cucharas de dos o cuatro cables normales*. Una vez introducido pulsando “ENTER” o “haciendo click” fuera del recuadro habilita la parte izquierda (*Capacidad cuchara*) marcando el límite característico de esta.
- La **parte superior derecha** es habilitada exclusivamente por las *Cucharas de dos o cuatro cables* permitiendo la selección de los subtipos (*Anexo II Cálculos Teóricos*):
 - Cucharas normales: es la única que habilita la introducción de la *Densidad Aparente* y, a posteriori, la parte izquierda (*Capacidad cuchara*) marcando el límite característico de esta.
 - Cucharas pólipos: habilita exclusivamente la parte izquierda (*Capacidad cuchara*) marcando el límite característico de esta.
 - Cucharas para cereales: habilita exclusivamente la parte izquierda (*Capacidad cuchara*) marcando el límite característico de esta.
- En la **parte izquierda** permite introducir la *Capacidad cuchara* siempre dentro del límite según la tipología en [m^3]. Después, pulsando “ENTER” o “haciendo click” fuera del recuadro aparece el
- En la **parte central** se muestra, después haber completado el punto anterior, un croquis y las medidas del tipo de cuchara elegido (en la barra de información debajo del propio dibujo).

- En la **parte derecha** se muestra el resultado obtenido para el *Peso Propio de la cuchara* en [kg].

Ilustración 11: Submenú Cucharas. Programa Grúas-Elementos

A = 1365 mm B = 2415 mm B1 = 2930 mm H = 2295 mm H1 = 2930 mm a = 230 mm b = 430 mm

Ilustración 11: Submenú Cucharas (ejemplo completo). Programa Grúas-Elementos

SUBMENU SPREADERS

Dentro del submenú propio de los Spreaders se divide en siete zonas:

- En la **parte superior izquierda** permite introducir los diferentes datos:
 - Q útil: en la correspondiente casilla se introduce el peso de la carga a elevar, la que se incluye dentro del contenedor, expresado en [daN].
 - Q conten.: es necesario introducir el peso del contenedor, según sus medidas y material, expresado en [daN].
 - Material: permite seleccionar el tipo de acero del spreader entre: A42, A52 o T70.
 - Tensión límite: aparece automáticamente según la selección del *material*, expresada en [MPa].

Ilustración 12: Submenú Spreaders. Programa Grúas-Elementos

- En la **parte superior central** se muestra un esquema/croquis mostrando las cotas que definirán el spreader.
- En la **parte superior derecha** el usuario define en [m] cada una de las cotas siguiendo el esquema de la parte central. En función de los tramos de este, es posible que, en alguna ocasión, el valor deba ser nulo para indicar que no existe en el diseño.
- En la **parte central** se introduce progresivamente, de mayor a menor sección, de izquierda a derecha, de la parte interior del spreader hacia el extremo. En cada

recuadro se especifican las dimensiones de la sección. Estos datos introducidos permiten calcular la inercia de la sección *Anexo II Cálculos Teóricos*. Finalmente, mediante el botón *Calcula* se obtiene el coeficiente de seguridad con el que trabajará cada parte. El programa, adicionalmente, emite un mensaje para aproximar dicho coeficiente a dos, tanto si la sección no cumple como si está sobredimensionada se avisa al usuario para que ajuste los parámetros.

- En la **parte inferior**, tras haber pulsado el botón Cálculo Peso aparece en el recuadro amarillo, expresado en [daN], el peso total del spreader que se almacenará, junto con el valor de la carga útil y el contenedor para después tenerlos en consideración como peso total en el cálculo del resto de elementos.

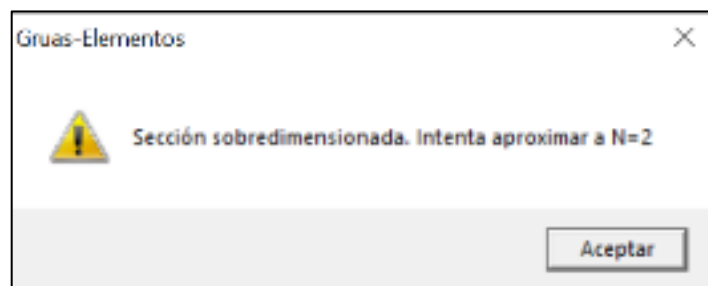


Ilustración 13: Submenú Spreaders. Mensaje de error cuando se sobredimensiona la sección. Programa Grúas-Elementos

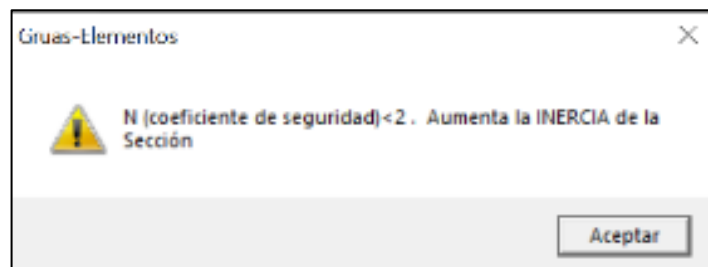


Ilustración 14: Submenú Spreaders. Mensaje de error cuando la sección no cumple. Programa Grúas-Elementos

SUBMENU CABLES

Este es una de las subdivisiones más completas dentro del programa, debido a todas las combinaciones posibles en función de la tipología del problema. Separado de tal forma que cronológicamente:

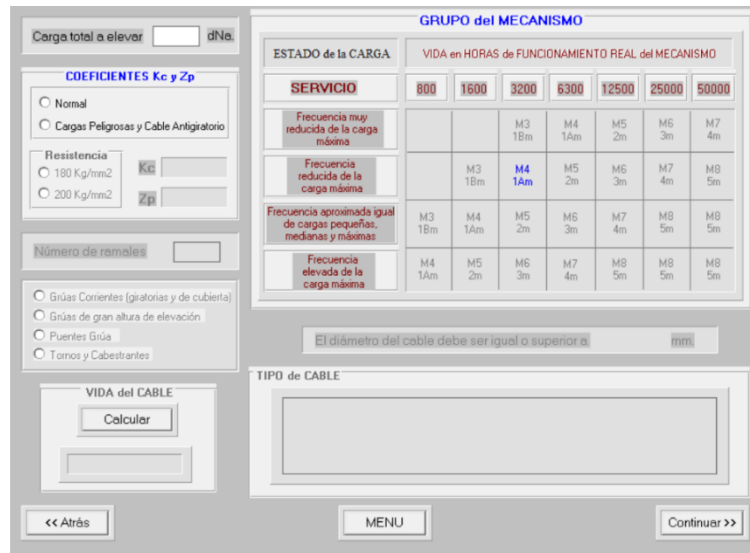


Ilustración 15: Submenú Cables. Programa Grúas-Elementos

- En la **parte superior izquierda** se observa la *Carga total a elevar* expresada en [daN] que el programa toma automáticamente de los apartados anteriores, independientemente de tratarse de ganchos, cucharas o spreader. También es posible introducir manualmente el dato.
- En la **parte superior derecha** existe el cuadrante interactivo, para clasificar los cables según su grupo, en ambas normativas (FEM/DIN 15020), que relación el *SERVICIO* y la *VIDA en HORAS de FUNCIONAMIENTO REAL del MECANISMO*. Este es seleccionado por el usuario según el problema a resolver.
- En la **parte izquierda** se desbloquean progresivamente el resto de las casillas una vez se haya escogido el grupo del cable eligiendo entre:
Normal / Cargas Peligrosas y Cable Antigiratorio
Resistencia de 180 / 200 en [Kg/mm²]: obteniendo los valores derivados, en función de esta y de la tabla definida por la norma FEM/DIN, de Kc (coeficiente norma DIN) y Zp (seguridad mínima).
Número de ramales: a introducir por el usuario.

Grúas corrientes, Grúas de gran altura de elevación, Puentes Grúa y Tornos y Cabestrantes: eligiendo el tipo de grúa aparecerán los valores en los que debe estar comprendido el diámetro del cable para realizar la comprobación de que es adecuado para el uso destinado. Si no existe ninguno el programa muestra un mensaje de aviso para revisar los cálculos y que el diámetro del cable cumpla.

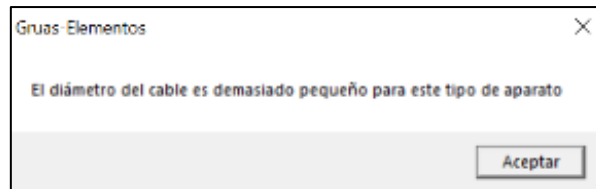


Ilustración 16: Submenú Cables. Mensaje de error cuando el cable no cumple. Programa Grúas-Elementos

- En la **parte central**, después de definir el Número de ramales, aparece automáticamente *El diámetro del cable...* expresado en[mm].
- En la **parte inferior derecha** aparece la tipología y rangos, según todas las elecciones y cálculos anteriores para los que el diámetro de cable obtenido es válido.
- En la **parte inferior izquierda** es posible mediante el botón *Calcular* conocer la *VIDA del CABLE*. Con ello aparece una nueva ventana. Esta se divide en:

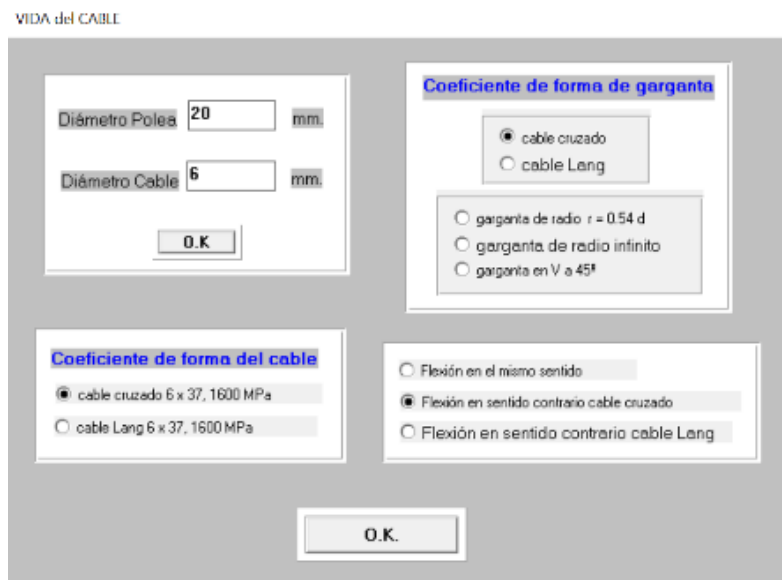


Ilustración 17: Submenú Cables. Ventana de VIDA del CABLE. Programa Grúas-Elementos

Diámetro Polea: es definido por el usuario. No la toma del programa

Diámetro Cable: el obtenido en la pantalla anterior redondeado a más.

Coeficiente de forma del cable: a elegir por el usuario.



Coeficiente de forma de garganta: a elegir por el usuario.

Tipo de flexión del cable: a elegir por el usuario.

Finalmente, tras pulsar *OK*, aparece la *VIDA del CABLE* expresada en [flexiones].

SUBMENU POLEAS

Este submenú se encuentra después del de Cables. Es cierto que en ambos es necesaria la información del otro, por lo que se debe volver a los cálculos anteriores para



Ilustración 18: Submenú Poleas. Programa Grúas-Elementos

completarlos correctamente. Este se subdivide principalmente en:

- En la **parte izquierda** se calcula lo referente al **DIÁMETRO**:
Carga total: toma el valor acumulado de los pasos anteriores.
Número de ramales: toma el valor del cálculo de cables.
Tipo de Grupo: toma el valor del cálculo de cables. Es posible modificar el valor y que aparezca de nuevo la tabla de las normativas FEM/DIN 15020.
Diámetro del cable: toma el valor del cálculo de cables.
Coef. h1: tomo el valor del cálculo de cables, aunque es posible modificar la selección (*Anexo II Cálculos Teóricos*).
Coef. h2: cuando se pulsa el botón **Calcular** aparece un nuevo menú para escoger según los ramales, poleas y su distribución, el coeficiente correspondiente (*Anexo II Cálculos Teóricos*).

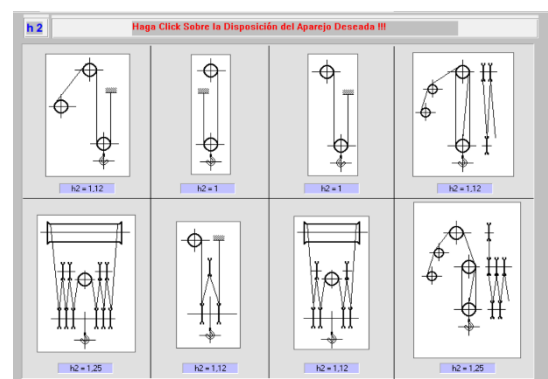


Ilustración 19: Submenú Poleas. Ventana coeficiente h2

Programa Grúas-Elementos

Tipo de Polea: a seleccionar por el usuario.

Diámetro Polea: resultado que muestra el programa según la elección.

Peso Polea: resultado que muestra el programa según la elección.

- En la **parte central** prosigue con el *ESPESOR de la LLANTA*.

Espesor estimado: según el valor que se deduce en la ecuación (*Anexo II Cálculos Teóricos*) se coloca el valor estimado para comprobar a posteriori.

Número de radios: según el valor que se deduce en la ecuación (*Anexo II Cálculos Teóricos*) se coloca el valor estimado para comprobar a posteriori.

Límite de elasticidad: a introducir por el usuario, aunque el programa coloca un valor por defecto.

Coef. Seguridad: resultado que muestra el programa según la elección tras pulsar el botón CALCULAR. En esta ocasión no aparece ninguna ventana recomendando un valor adecuado.

- En la **parte derecha** finalmente se termina con el *ESPESOR de los RADIOS*:

Espesor estimado: según el valor que se deduce en la ecuación (*Anexo II Cálculos Teóricos*) se coloca el valor estimado para comprobar a posteriori.

Profundidad estimada: según el valor que se deduce en la ecuación (*Anexo II Cálculos Teóricos*) se coloca el valor estimado para comprobar a posteriori.

Límite elasticidad: a introducir por el usuario, aunque el programa coloca un valor por defecto.

Coef. Seguridad: resultado que muestra el programa según la elección tras pulsar el botón CALCULAR. En esta ocasión no aparece ninguna ventana recomendando un valor adecuado.

SUBMENU TAMBOR

Para poder acceder a este apartado es necesario haber calculado el referente a los cables y poleas. En cuanto al submenú del Tambor se divide en:

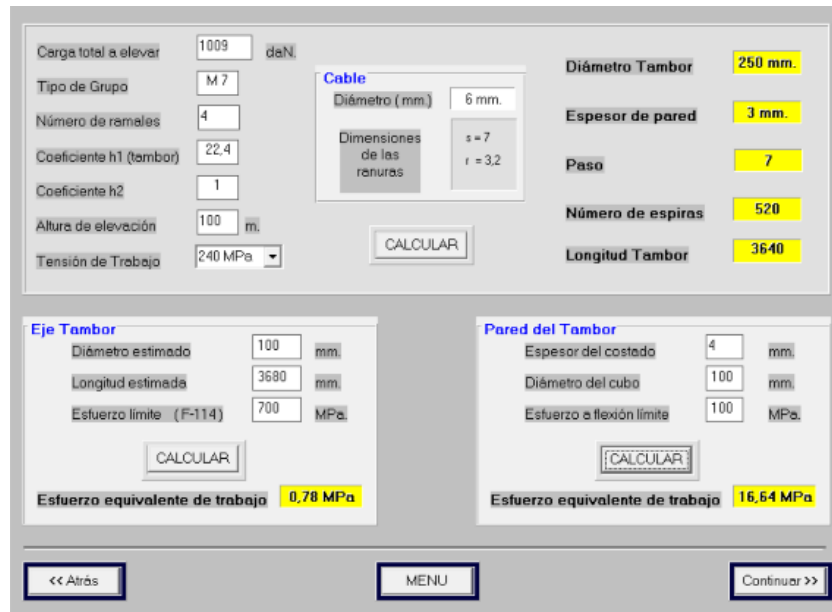


Ilustración 20: Submenú Tambor. Programa Grúas-Elementos

- Dentro de la **parte superior** se divide a su vez en tres secciones diferenciadas:
 - Datos: todos son tomados de los apartados anteriores a excepción de la *Altura de elevación* (expresada en [m]) y la *Tensión de Trabajo*, dentro de las opciones que otorga el programa.
 - Cable: todos los datos tomados del apartado de *Cables*. Es posible modificar el *Diámetro* del cable si procede.
 - Resultados: se obtienen todos los datos referentes al *Tambor*, tras haber pulsado el botón *CALCULAR* todas
- En la **parte izquierda**, tras los datos general del *Tambor*, se obtienen los del *Eje Tambor*. Introduciendo el *Diámetro estimado* y *Longitud Estimada* (*Anexo II Cálculos Teóricos*). Por último, aparece, en función de la selección del material hecha con anterioridad, el *Esfuerzo Límite* ("material"). Al pulsar el botón *CALCULAR* se obtiene el *Esfuerzo equivalente de trabajo* (*Anexo II Cálculos Teóricos*).
- En la **parte derecha** se termina de definir el Tambor con la parte respectiva a los cierres. Se introduce el *Espesor del costado* y el *Diámetro del cubo* (*Anexo II Cálculos Teóricos*). También aparece el *Esfuerzo Límite* ("material"). Al pulsar el botón *CALCULAR* se obtiene el *Esfuerzo equivalente de trabajo* (*Anexo II Cálculos Teóricos*).

SUBMENU APAREJO

Para poder acceder a este apartado es necesario haber calculado el referente a los ganchos. En este caso existen principalmente tres divisiones:

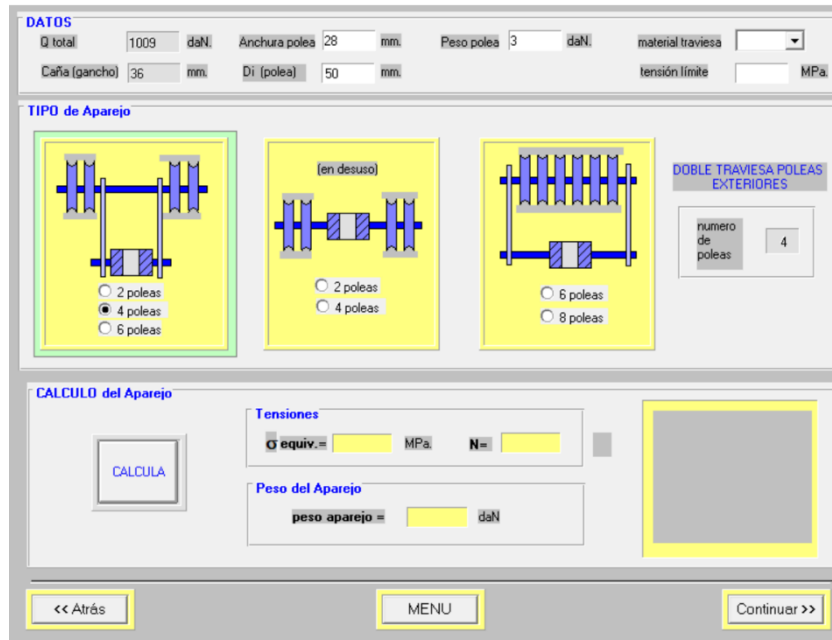
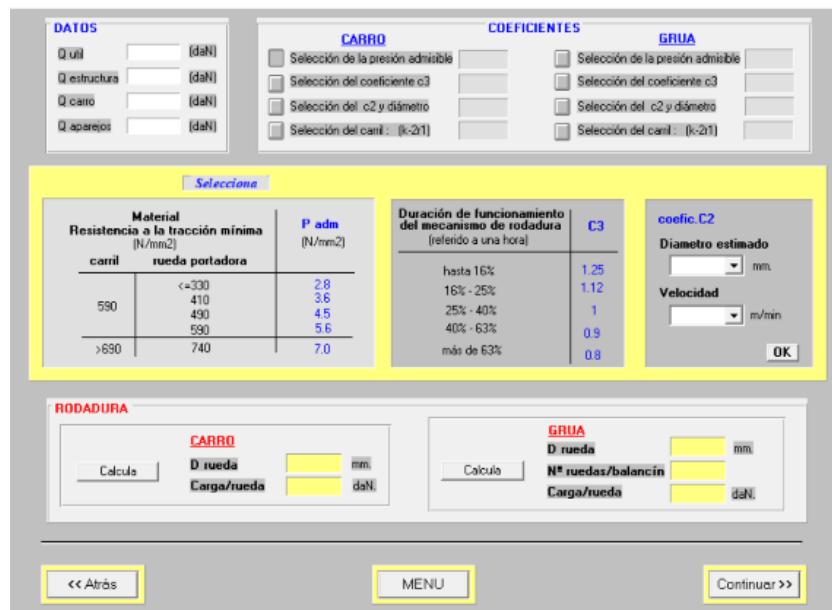


Ilustración 21: Submenú Aparejo. Programa Grúas-Elementos.

- En la **parte superior** se repasan todos los valores que se han ido acumulando a lo largo del programa según los cálculos llevados a cabo en los demás submenús. Lo único que debe seleccionar el usuario es el *material traviesa* para que el programa defina la *tensión límite* expresada en [MPa].
- En la **parte central** el usuario debe elegir el *TIPO de Aparejo* y, si procede, modificar el *número de poleas*.
- En la **parte inferior**, por último, tras pulsar el botón *Calcular* se obtienen los valores de:
 - Q equiv: carga equivalente, según el tipo de aparejo y sus características, expresada en [MPa].
 - N: tensión en el aparejo expresado en [N].
 - Peso aparejo: expresado en [daN] para después tenerlo en cuenta en la *Carga Total* para el resto de los cálculos. Por ejemplo, para el cálculo del cable.

SUBMENU RODADURA

En este caso existen tres zonas diferenciadas:



Material		P adm
Resistencia a la tracción mínima (N/mm2)		(N/mm2)
carril	rueda portadora	
	<=300	2.8
	410	3.6
590	490	4.5
	590	5.6
>690	740	7.0

Duración de funcionamiento del mecanismo de rodadura (referido a una hora)		C3
hasta 16%		1.25
16% - 25%		1.12
25% - 40%		1
40% - 63%		0.9
más de 63%		0.8

coefic. C2	
Diametro estimado	mm
Velocidad	m/min

Ilustración 22: Submenú Rodadura. Programa Grúas-Elementos

- En la **parte superior** existen subzonas diferenciadas.
 - Datos: todos son tomados de los apartados anteriores, a excepción de *Q estructura* y la *Q carro*, para poder determinar el peso total que soportan las ruedas y railes.
 - Coeficientes/Carro: el usuario marca la casilla que desea rellenar para poder acceder a la parte del menú correspondiente.
 - Coeficientes/Grúa: se procede de igual manera que en el apartado anterior.
- En la **parte central** se encuentran 3 zonas, separadas en columnas, independientes.
 - Presión Admisible: el usuario habilita la sección correspondiente para seleccionar el *carril* y la *rueda portadora* para obtener un resultado expresado en [N/mm2].
 - Coeficiente (C3): el usuario habilita esta otra sección para seleccionar la *duración de funcionamiento del mecanismo de rodadura* y obtener el valor del coeficiente.
 - Coeficiente (C2) y diámetro: desplegando el menú de cada elemento, primero se selecciona el *diámetro estimado* expresado en [mm] y después, la *velocidad* expresada en [m/min], ambos casos dentro de las posibilidades ofertadas por el programa.

Selección del carril: este apartado aparece en una venta auxiliar.



Ilustración 23: Submenú Rodadura. Ventana Carril. Programa Grúas-Elementos

- Carril del CARRO: el usuario selecciona desde el desplegable la relación $b \times h$ del llantón.
 - Carril de la GRUA: primeramente, se selecciona el tipo de carril. Después, según la elección se escogen de los respectivos desplegables que definen finalmente dicho carril.
 - CALCULO del CARRIL de la GRUA: el usuario selecciona el *Tipo de Grúa*. Posteriormente, aparece la carga acumulada por el programa a través de todos los cálculos de los apartados anteriores, aunque puede ser modificada. También es preciso indicar la *longitud entre apoyos*, para terminar, pulsando el botón OK y obtener todos los cálculos relativos
- En la **parte inferior**, una vez se han completado todos los apartados anteriores, pulsando ambos botones de Calcula se obtienen los resultados:
- D rueda (carro): diámetro de las ruedas expresado en [mm].
 - Carga/rueda (carro): carga que soporta cada rueda expresado en [daN].
 - D rueda (grúa): diámetro de las ruedas expresado en [mm].
 - Nº ruedas/balancín (grúa): cantidad de ruedas que conforman la grúa.
 - Carga/rueda (grúa): carga que soporta cada rueda expresado en [daN].

SUBMENU MOTORES

Al intentar acceder al submenú de los motores aparece un nuevo apartado, dentro del propio menú principal, para seleccionar cada uno de los existentes dentro de la grúa: *elevación, traslación carro o traslación grúa*.



Ilustración 24: Submenú Motores. Programa Grúas-Elementos

Por orden de aparición primero se accede al motor de *elevación*. Su menú está dividido en tres zonas diferenciadas:

- En la **parte superior**, primeramente, en el lado izquierdo se revisan los datos de entrada y, tras pulsar el botón *Motor* se obtienen los resultados en el lado derecho:

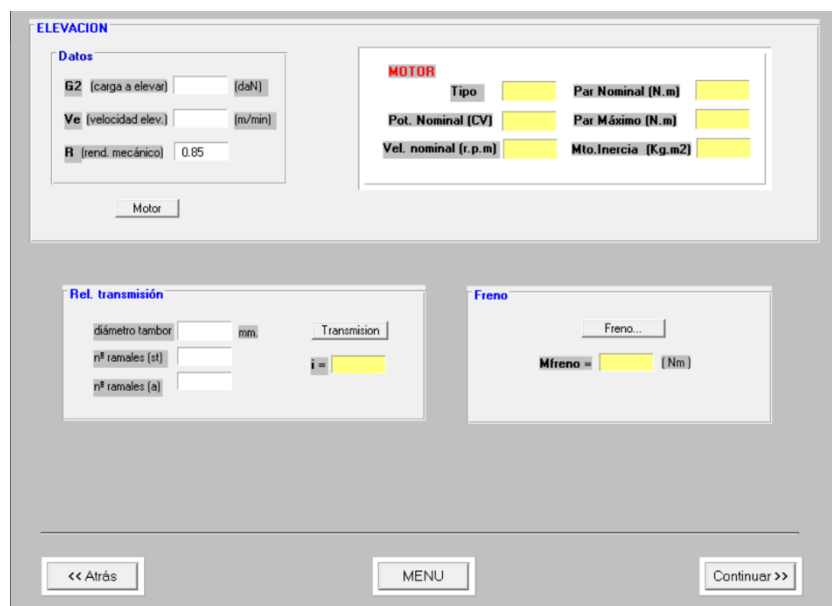


Ilustración 25: Submenú Motores-Elevación. Programa Grúas-Elementos

G2 (carga a elevar): el programa toma todos los valores acumulados de la carga total de la carga. Incluyendo: carga, aparejos, cables, etc.

Ve (velocidad elev.): según los datos del programa, el usuario marca, expresado en [m/min] la velocidad máxima con la que la carga subirá y bajará.

R (rend. Mecánico): a definir por el usuario según el problema, expresado en tanto por uno, definido por el problema.

- En la **parte izquierda** se hace referencia a la *Relación de transmisión* (Anexo II Cálculos Teóricos) introduciendo el usuario los datos, tras haber completado el apartado anterior (sino el programa expulsa al usuario), pulsar el botón *Transmisión* y obtener la relación de la misma (i).
- En la **parte derecha** al pulsar el botón *Freno* aparece una ventana para poder configurarlo y obtener el resultado final.

Freno de Mordaza: si es seleccionado por el usuario es necesario indicar el ancho (b) y el radio (r) de este, expresado en [mm]. Después es necesario pulsar el botón *calcular* para obtener el par del freno (M_{freno}) expresado en [Nm]. Existen parámetros (Anexo II Cálculos Teóricos) ya definidos por defecto en el programa.

Freno de Disco: si es seleccionado por el usuario es necesario indicar la parte que está “mordida” por el disco: radio exterior (r_e), radio interior (r_i) y ángulo (α) (Anexo II Cálculos Teóricos). Después es necesario pulsar el botón *calcular* para obtener el par del freno (M_{freno}) expresado en

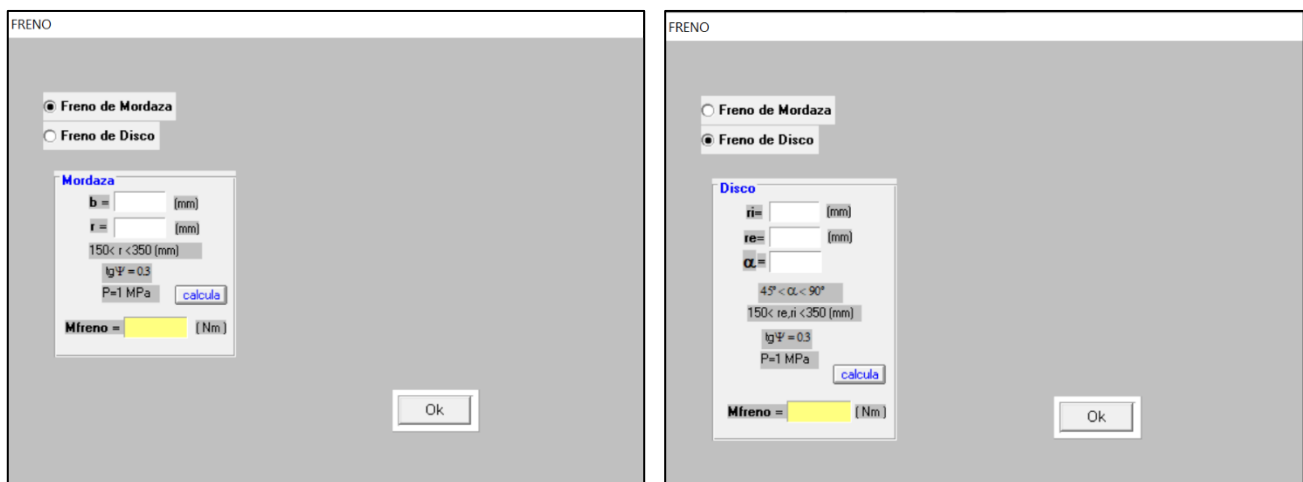
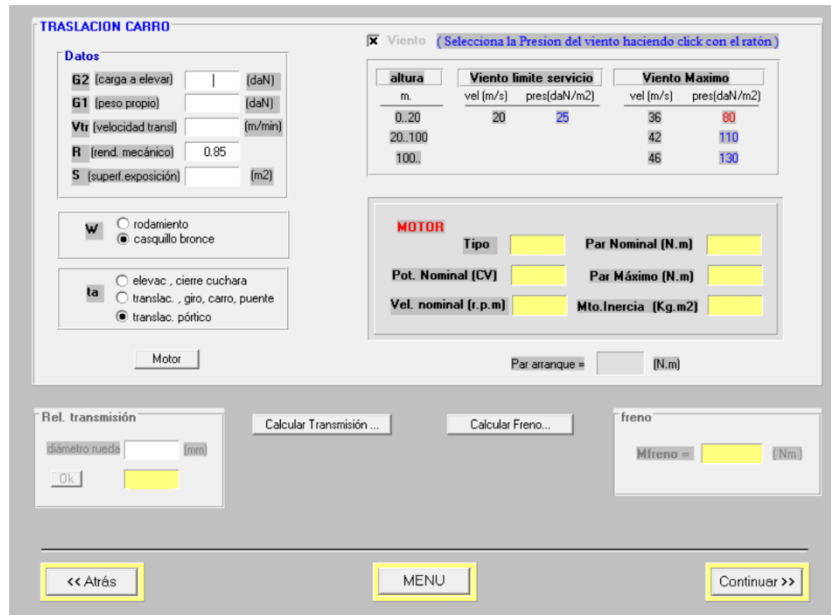


Ilustración 26: Submenú Motores-Elevación. Ventana Frenos. Programa Grúas-Elementos

[Nm].

A continuación, se accede al motor de *traslación del carro*. Este menú el usuario lo encuentra en tres zonas diferenciadas:



TRASLACION CARRO

☒ Viento (Selecciona la Presion del viento haciendo click con el ratón)

Datos

G2 (carga a elevar) [] (daN)

G1 (peso propio) [] (daN)

Vtr (velocidad transl) [] (m/min)

R (rend. mecánico) 0.85

S (superf. exposición) [] (m²)

W ☐ rodamiento ☒ casquillo bronce

ta ☐ elevac. cierre cuchara ☐ translac. giro, carro, puente ☒ translac. pórtico

Motor

Viento

altura m	Viento limite servicio		Viento Maximo	
	vel (m/s)	pres (daN/m ²)	vel (m/s)	pres (daN/m ²)
0..20	20	25	36	80
20..100			42	110
100..			46	130

MOTOR

Tipo [] Par Nominal (N.m) []

Pot. Nominal (CV) [] Par Máximo (N.m) []

Vel. nominal (r.p.m) [] Mto. Inercia (Kg.m²) []

Par arranque = [] (N.m)

Rel. transmisión

díametro rueda [] (mm)

Ok []

Calcular Transmisión ...

Calcular Freno...

freno

Mfreno = [] (Nm)

<< Atrás

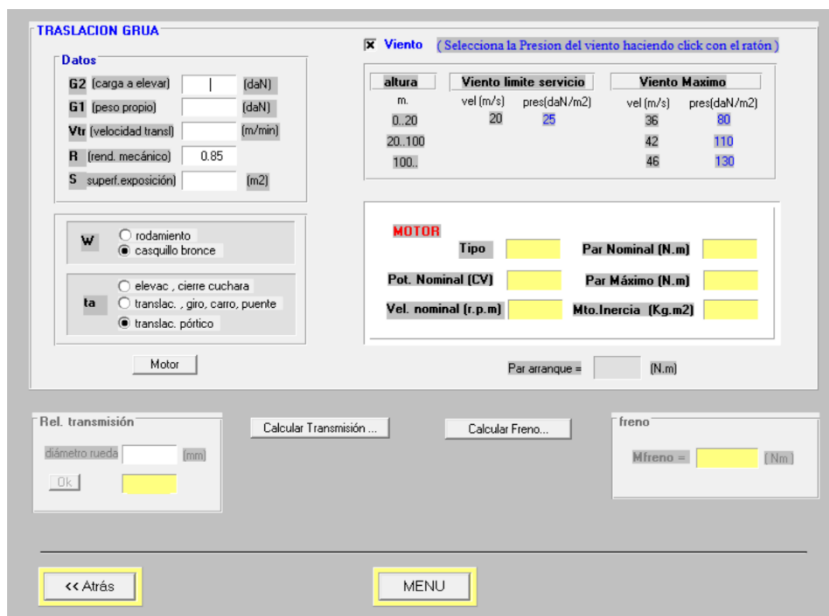
MENU

Continuar >>

Ilustración 27: Submenú Motores-Traslación Carro. Programa Grúas-Elementos

- En la **parte superior**, la más completa, se terminan de introducir los datos relativos a la carga, la grúa, su desplazamiento y su rendimiento. Además, en el margen derecho, existe la posibilidad de marcar una casilla para habilitar los cálculos referentes al *viento* y su acción. Una vez habilitado el usuario debe incluir la *superficie exposición* expresada en [m²] y la tabla que relaciona la *velocidad del viento máxima* y de *servicio* (Anexo II Cálculos Teóricos).
- En la **parte inferior izquierda** se realiza, al pulsar el botón *Calcular Transmisión*, los cálculos de la misma. Es necesario introducir el *díametro de la rueda* primero (Anexo II Cálculos Teóricos).
- En la **parte inferior derecha**, para el cálculo del freno que, pulsando el botón *Calcular Freno* se accede a la misma ventana que se ha mostrado con anterioridad.

Por último, se accede al motor de traslación de la grúa. Este menú funciona de igual manera que el de *Traslación del carro*, pero aplicado al movimiento de la grúa.



TRASLACION GRUA

☒ **Viento** (Selecciona la Presion del viento haciendo click con el ratón)

Datos

G2 (carga a elevar) [] (daN)

G1 (peso propio) [] (daN)

Vtr (velocidad transl) [] (m/min)

R (rend. mecánico) 0.85

S superf. exposición [] (m2)

W ☐ rodamiento ☒ casquillo bronce

ta ☐ elevac. cierre cuchara ☐ translac. giro, carro, puente ☒ translac. pórtico

Motor

MOTOR

Tipo [] Par Nominal (N.m) []

Pot. Nominal (CV) [] Par Máximo (N.m) []

Vel. nominal (r.p.m) [] Mto. Inercia (Kg.m2) []

Par arranque = [] (N.m)

Rel. transmisión

diámetro rueda [] (mm)

Ok []

Calcular Transmisión ...

Calcular Freno ...

freno

Mfreno = [] (Nm)

<< Atrás

MENU

Ilustración 28: Submenú Motores-Traslación Grúa. Programa Grúas-Elementos



ANEXO II: CÁLCULOS TEÓRICOS

INTRODUCCIÓN

En el presente Anexo se analizan, parte por parte, los cálculos teóricos que realiza el programa en segundo plano para poder mostrar los resultados del *Anexo I Manual de Usuario* mediante una interfaz determinada.

Se presentan las diferentes tablas y fórmulas que permiten obtener los resultados de cada submenú y parte de la grúa.

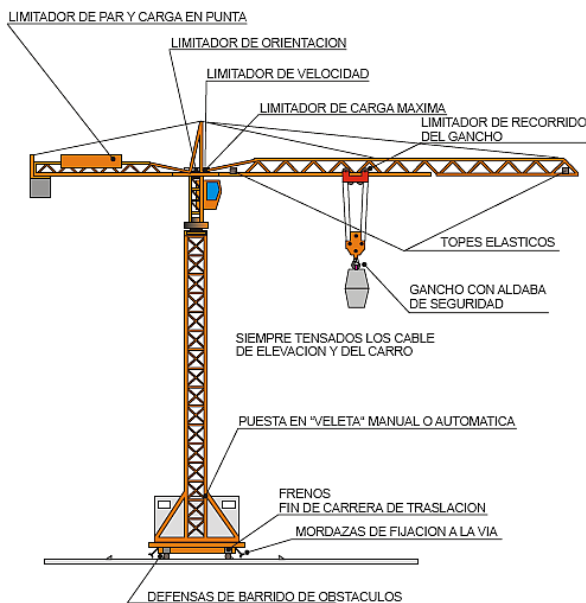


Ilustración 30: Esquema de grúa

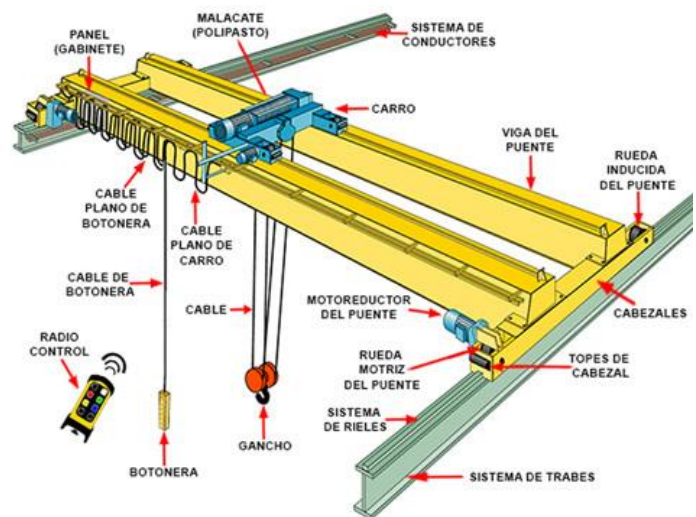


Ilustración 30: Esquema de puente grúa

SUBMENU GANCHOS

Los ganchos para grúas son dispositivos para la elevación y bajada de cargas por efecto de un motor que lo sujeta con ayuda de un cable principal y unas cadenas (eslingas) que sujetan las cargas a desplazar.

Estos dispositivos sirven para suspender, coger o soportar la carga. Existen otro tipo de órganos de aprehensión como: ganchos, cucharas y electroimanes.

Para calcular y poder dimensionar el gancho es necesario conocer la carga que debe poder elevar y suspender el mismo, expresado en [daN].

Gancho Nº	a1	a2E	a2D	b1	b3	b4	c	d3	d5 hg	s	u1	u3	v	Rodam	Peso [kg]	Ref.
2,5	63	50	40	80	22,5	17	8	M 36	30	10	64		170	51108	9	001.2,5
4	71	56	45	90	25,0	19	8	M 42	35	12	71		190	51110	14	001.4
5	80	63	50	100	27,5	22	8	M 45	40	15	80		210	51112	20	001.5
6	90	71	56	125	30,0	24	10	Rd 50	45	15	95	95	240	51214	29	001.6
8	100	80	63	140	35,0	29	10	Rd 56	50	20	104	104	265	51216	40	001.8
10	112	90	71	160	35,0	29	10	Rd 64	55	20	110	116	280	51218	57	001.10
12	125	100	80	180	42,5	34	10	Rd 72	60	25	127	133	315	51220	85	001.12
16	140	112	90	190	42,5	36	12	Rd 80	70	25	136	143	370	51222	110	001.16
20	160	125	100	200	47,5	41	12	Rd 90	80	56	30	150	415	51224	160	001.20
25	180	140	112	220	49,0	41	12	Rd 100	90	30	166	173	460	51226	228	001.25
32	200	160	125	260	59,0	51	12	Rd 110	100	40	188	195	500	51232	312	001.32
40	224	180	140	285	65,0	58	14	Rd 125	110	45	208	215	565	51236	445	001.40
50	250	200	160	335	65,0	58	14	Rd 140	125	45	224	232	620	51244	612	001.50
63	280	224	180	380	71,0	63	14	Rd 160	140	50	260	267	700	51248	870	001.63
80	315	250	200	420	72,5	63	14	Rd 180	160	50	287	294	800	51256	1230	001.80
100	355	280	224	470	87,5	77	18	Rd 200	180	60	326	333	885	51260	1750	001.100
125	400	315	250	510	87,5	77	18	Rd 225	200	60	265	374	1000	51268	2520	001.125
160	450	355	280	550	100,0	87	18	Rd 250	220	70	406	416	1130	51272	3580	001.160
200	500	400	315	610	100,0	87	18	Rd 280	240	70	492	502	1270	51372	4850	001.200
250	560	450	355	700	110,0	97	18	Rd 320	260	80	552	562	1440	51384	6850	001.250

Tabla 1: Dimensiones de ganchos simples de forja (DIN 15401 y 15402)

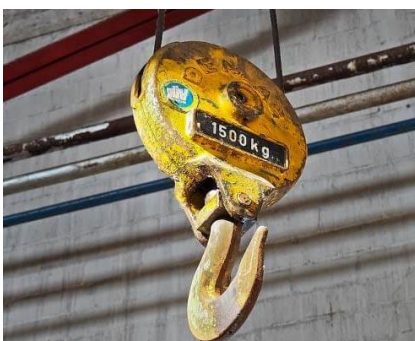


Ilustración 33: Gancho de grúa



Ilustración 33: Cuchara de grúa



Ilustración 33: Electroimán de grúa

SUBMENU CUCHARAS

Es un elemento que se emplea principalmente cuando el uso de ganchos no es viable debido a que el material a elevar es fluido y no se encuentra en un recipiente con asideros que puedan ser usados por el gancho. Bien sea un líquido, polvo o trozos pequeños que, de otra manera, no sería viable su movimiento.

El principal problema de estos medios de elevación es que se tiene un elevador valor del peso propio, además del propio del material, por lo que termina aumentando la potencia de elevación y traslación de la misma.



De manera similar a como ocurre con los ganchos, en función del material a elevar y el volumen que se desea elevar con cada "cucharada".

A partir de las tablas según la normativa DIN 69201, en función del número de cables y el tipo de cucharas: normales, pólipio y de cereales. En función de la cuchara escogida después se obtienen las diferentes dimensiones y pesos de la misma.

Densidad aparente [Tm/m³]								Diámetro de garganta de las poleas de cable	Diámetro máx. del cable de cierre	Separación de los cables		Fuerza portante de la grúa [kg]
de 0,35 a 1,20		de 1,20 a 2,00		de 2,00 a 2,60		de 2,60 a 3,80						
Serie 1		Serie 2		Serie 3		Serie 4						
Capacidad [m³]	Peso [kg]	Capacidad [m³]	Peso [kg]	Capacidad [m³]	Peso [kg]	Capacidad [m³]	Peso [kg]			Cable de cierre	Cable de retención	
0,80	1200	0,50	1200					320	13	335	180	
1,00	1275							320	13	335	180	2000
1,25	1450	0,80	1600	0,63	1800			320	16	335	180	
1,60	1650	1,25	1900					320	16	335	180	3000
2,00	2000							400	22	420	230	
2,50	2400	1,60	2300	1,00	2600			400	22	420	230	
3,00	2700							400	22	420	230	5000
3,50	3100							500	27	530	230	
4,00	3500	2,50	3500	1,60	4000	1,25	4500	500	27	530	230	8000
5,00	4300							500	27	530	230	
6,30	5300	3,00	4200	2,00	5000	1,50	5500	630	33	665	280	10000
8,00	6500	4,00	5600	2,50	6200	2,00	6500	630	33	665	280	12500
10,00	8000	5,00	7000	3,00	7300	2,50	8100	710	33	750	280	16000
12,50	9500	6,30	8500	4,00	9500	3,00	9700	800	40	845	280	20000
3,4 ó 5 veces		4 ó 5 veces		5 ó 6 veces				Relación de transmisión del aparejo de la cuchara				

Tabla 2: Capacidad y peso de cucharas de dos o cuatro cables

Capacidad [m3]	A	B	B1	H	H1	a	b	D	Diám. Máx de cable	Carrera de cierre	Longitud de cable en la cuchara	Peso[kg]
0,80	1020	1810	2190	1750	2230	180	340	320	14	4 x 1205 = 4820	9750	1200
1,00	1020	2000	2420	1880	2410	180	340	320	14	4 x 1360 = 5440	10350	1275
1,25	1145	2110	2550	1945	2510	180	340	320	16	4 x 1445 = 5780	10700	1450
1,60	1245	2285	2765	2035	2665	180	340	320	16	4 x 1570 = 6280	11200	1650
2,00	1365	2415	2930	2295	2930	230	430	400	20	4 x 1650 = 6600	12350	2000
2,50	1515	2590	3115	2345	3040	230	430	400	20	4 x 1760 = 7040	12800	2400
3,00	1630	2720	3250	2425	3165	230	430	400	20	4 x 1870 = 7480	13200	2700

Tabla 3: Pesos y dimensiones principales de cucharas normales

Capacidad [m3]	Peso propio [kg]	Dimensiones principales [mm]				Material transportado
		A	B	C	D	
0,50	1800	1730	2430	1760	2225	Chatarra
0,80	2600	1930	2700	2050	2500	Chatarra
1,00	3600	2190	2970	2380	2945	Mineral
1,25	4250	2260	3190	2480	3025	Piedra Caliza
6,00	13000	3650	5425	4375	5250	Mineral
15,00	10500	4200	6100	4500	5900	Coque

Tabla 4: Pesos y dimensiones principales de cucharas pólipa

Capacidades [m3]	Peso propio [kg]	Dimensiones principales [mm]				
		A	B	C	D	E
0,8	900	2100	2400	1700	2200	950
1	1100	2150	2540	1840	2350	960
1,5	1300	2350	2700	1900	2400	1250
2	1650	2470	2800	1920	2630	1420
3	2600	2850	3200	2150	2980	1650

Tabla 5: Pesos y dimensiones principales de cucharas de cereales

CÁLCULO DE SPREADERS

Un Spreader es un sistema elevador instalado entre la carga y el equipo de elevación (grúa), centrado principalmente en el transporte de contenedores en puertos y terminales ferroviarios. Su función consiste en enganchar y posteriormente elevar/descender los contenedores.

Suelen ser marcos telescópicos que se ajustan a las dimensiones normalizadas de los contenedores (20', 30', 40' o 45'). Este se acopla a las cuatro esquinas superiores del contenedor, cerrándose sobre el mismo mediante cerrojos.



Ilustración 34: Spreader transportando un contenedor.

El cálculo principal para este apartado se centra en asegurar que la Inercia (I) y el Momento Resistente (W) de cada una de las secciones (3 en este caso) que conforman el Spreader aguanten la carga a elevar.

Para ello, primeramente, se calcula el peso que debe soportar cada uno de los ramales del Spreader (4 ramales), Carga a elevar (Q_e), en función de la Carga Útil (Q_u) y la Carga del Contenedor (Q_{cont}). Posteriormente se realiza un análisis estructural simple para cada sección suponiendo un empotramiento.

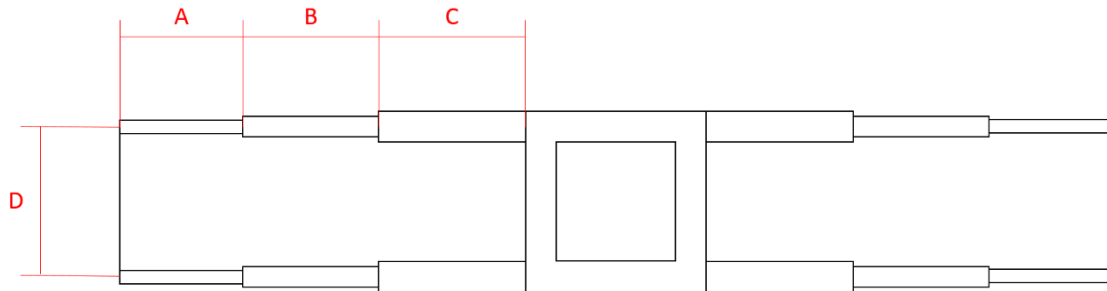


Ilustración 35: Esquema de un Spreader. Acotación por tramos y ancho.



Ilustración 37: Esquema del estudio estructural. Empotramiento con carga en el extremo

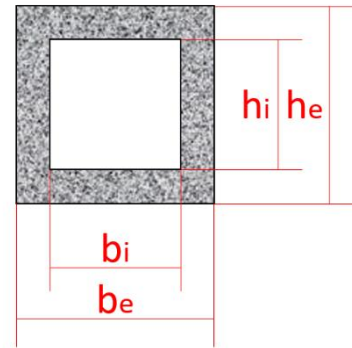


Ilustración 37: Sección propuesta

$$Q_e \text{ [daN]} = \frac{Q_u + Q_{cont}}{4}$$

Tramo C

$$L_c \text{ [m]} = A + B + C$$

$$M_c \text{ [daN} \cdot \text{m]} = Q_e \cdot L_c = Q_e \cdot (A + B + C)$$

$$I_c \text{ [mm}^4] = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \cdot [b_e(C) \cdot h_e^3(C) - b_i(C) \cdot h_i^3(C)]$$

$$W_c \text{ [mm}^3] = \frac{I_c}{h(C)/2}$$

$$A_c(C) \text{ [mm}^2] = 2 \cdot e(C) \cdot h_e(C)$$

$$\sigma_{VM}(C) \text{ [MPa]} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_c}{W_c}\right)^2 + 3\left(\frac{Q_e}{A_c(C)}\right)^2}$$

$$CS(C) \text{ [adimensional]} = \frac{\sigma_y(\text{Material}_C)}{\sigma_{VM}(C)} > 2 \rightarrow \text{OK}$$

Tramo B

$$L_B [m] = A + B$$

$$M_B [daN \cdot m] = Q_e \cdot L_B = Q_e \cdot (A + B)$$

$$I_B [mm^4] = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \cdot [b_e(B) \cdot h_e^3(B) - b_i(B) \cdot h_i^3(B)]$$

$$W_B [mm^3] = \frac{I_B}{h(B)/2}$$

$$A_c(B) [mm^2] = 2 \cdot e(B) \cdot h_e(B)$$

$$\sigma_{VM}(B) [MPa] = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_B}{W_B}\right)^2 + 3\left(\frac{Q_e}{A_c(B)}\right)^2}$$

$$CS(B) [\text{adimensional}] = \frac{\sigma_y(\text{Material}_B)}{\sigma_{VM}(B)} > 2 \rightarrow \underline{\text{OK}}$$

Tramo A

$$L_A [m] = A$$

$$M_A [daN \cdot m] = Q_e \cdot L_A = Q_e \cdot (A)$$

$$I_A [mm^4] = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12} \cdot [b_e(A) \cdot h_e^3(A) - b_i(A) \cdot h_i^3(A)]$$

$$W_A [mm^3] = \frac{I_A}{h(A)/2}$$

$$A_c(A) [mm^2] = 2 \cdot e(A) \cdot h_e(A)$$

$$\sigma_{VM}(A) [MPa] = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M_A}{W_A}\right)^2 + 3\left(\frac{Q_e}{A_c(A)}\right)^2}$$

$$CS(A) [\text{adimensional}] = \frac{\sigma_y(\text{Material}_A)}{\sigma_{VM}(A)} > 2 \rightarrow \underline{\text{OK}}$$

Peso del Spreader

$$P_C [daN] = [(b_e(C) \cdot h_e^3(C)) - (b_i(C) \cdot h_i^3(C))] \cdot C \cdot \rho$$

$$P_B [daN] = [(b_e(B) \cdot h_e^3(B)) - (b_i(B) \cdot h_i^3(B))] \cdot B \cdot \rho$$

$$P_A [daN] = [(b_e(A) \cdot h_e^3(A)) - (b_i(A) \cdot h_i^3(A))] \cdot A \cdot \rho$$

$$P_{\text{BRAZOS SPREADER}} [daN] = P_C + P_B + P_A$$

$$P_{\text{SPREADER}} [daN] = P_{\text{BRAZOS}} + P_{\text{ANCLAJES}} = P_{\text{BRAZOS}} + (P_{\text{BRAZOS}}/10) = Q_{\text{SPREADE}}$$

CÁLCULOS DE CABLES

El cable es un elemento esencial que debe ser capaz de soportar la carga sin romperse. Para poder cumplir con su función debe tener el diámetro y tipología adecuada. Una vez estimado el cable de acero calculado según el funcionamiento deseado de la grúa se deberá comprobar la durabilidad del mismo.

Principalmente se deduce el Diámetro del Cable [mm] y el Tipo de Cable. A posteriori, se obtiene la Vida Útil [h] del mismo.

$$Q_{\text{acum}}[\text{daN}] = Q_u + Q_{\text{SPREADER}} + Q_{\text{cont}}$$

En función de la carga a elevar se escoge el gancho y actualiza el valor de Q_u :

Gancho Nº	a1	a2E	a2D	b1	b3	b4	c	d3	d5 hg	s	u1	u3	v	Rodam	Peso [kg]	Ref.
2,5	63	50	40	80	22,5	17	8	M 36	30	10	64		170	51108	9	001.2,5
4	71	56	45	90	25,0	19	8	M 42	35	12	71		190	51110	14	001.4
5	80	63	50	100	27,5	22	8	M 45	40	15	80		210	51112	20	001.5
6	90	71	56	125	30,0	24	10	Rd 50	45	15	95	95	240	51214	29	001.6
8	100	80	63	140	35,0	29	10	Rd 56	50	20	104	104	265	51216	40	001.8
10	112	90	71	160	35,0	29	10	Rd 64	55	20	110	116	280	51218	57	001.10
12	125	100	80	180	42,5	34	10	Rd 72	60	25	127	133	315	51220	85	001.12
16	140	112	90	190	42,5	36	12	Rd 80	70	25	136	143	370	51222	110	001.16
20	160	125	100	200	47,5	41	12	Rd 90	80	56	30	150	415	51224	160	001.20
25	180	140	112	220	49,0	41	12	Rd 100	90	30	166	173	460	51226	228	001.25
32	200	160	125	260	59,0	51	12	Rd 110	100	40	188	195	500	51232	312	001.32
40	224	180	140	285	65,0	58	14	Rd 125	110	45	208	215	565	51236	445	001.40
50	250	200	160	335	65,0	58	14	Rd 140	125	45	224	232	620	51244	612	001.50
63	280	224	180	380	71,0	63	14	Rd 160	140	50	260	267	700	51248	870	001.63
80	315	250	200	420	72,5	63	14	Rd 180	160	50	287	294	800	51256	1230	001.80
100	355	280	224	470	87,5	77	18	Rd 200	180	60	326	333	885	51260	1750	001.100
125	400	315	250	510	87,5	77	18	Rd 225	200	60	265	374	1000	51268	2520	001.125
160	450	355	280	550	100,0	87	18	Rd 250	220	70	406	416	1130	51272	3580	001.160
200	500	400	315	610	100,0	87	18	Rd 280	240	70	492	502	1270	51372	4850	001.200
250	560	450	355	700	110,0	97	18	Rd 320	260	80	552	562	1440	51384	6850	001.250

Tabla 6: Dimensiones de ganchos simples de forja según norma DIN 15401 y 15402

$$Q_u [\text{daN}] = Q_u + Q_{\text{GANCHO}}$$

Según las características del problema y la Vida Útil del mecanismo se deduce el grupo a partir de la tabla:

ESTADO DE CARGA		VIDA EN HORAS DE FUNCIONAMIENTO REAL DEL MECANISMO													
Factor K	SERVICIO	800		1600		3200		6300		12500		25000		50000	
0,125	Frecuencia muy reducida de la carga máxima					M3	1 Bm	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m
0,250	Frecuencia reducida de la carga máxima			M3	1 Bm	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m
0,500	Frecuencia aproximadamente igual de cargas pequeñas, medianas y máximas	M3	1 Bm	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M7	5m	M8	5m
1,000	Frecuencia elevada de la carga máxima	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m	M8	5m	M8	5m

Tabla 7: Grupo del mecanismo FEM/DIN 15020

A partir de la selección anterior se obtienen los Coeficientes Z_p y K_c :

FEM			DIN				
GRUPO	Seg. Min (Zp)		GRUPO	Coeficiente Kc			
	NORMAL	CARGA PELIGROSA CABLE ANTI- GIRATORIO		NORMAL		CARGAS PELIGROSAS Y CABLE ANTIGIRATORIO	
				180	200	180	200
M3	3,5	4	1 Bm	0,250	0,235	0,265	0,250
M4	4	4,5	1 Am	0,265	0,250	0,280	0,265
M5	4,5	5,6	2m	0,280	0,265	0,315	0,280
M6	5,6	7,1	3m	0,315	0,280	0,335	0,325
M7	7,1	9	4m	0,335	0,325	0,375	0,365
M8	9	11,2	5m	0,375	0,365	0,425	0,400

Tabla 8: Coeficientes Z_p y K_c

Según el número de ramales escogidos por el problema, para calcular el Diámetro del Cable y las Dimensiones del Tambor:

$$S = \frac{Q_u + Q_{SPREADER}}{i \cdot \eta} \quad // \quad D_{cable}[mm] = K \cdot \sqrt{S}$$

Diámetro del Cable	10	13	16	19	22	27	33	40	44
s	12	15	18	22	25	31	37	45	49
r	5,5	7,0	9,0	10,5	12,0	15,0	18,0	22,0	24,0
a	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0

Tabla 10: Dimensiones de las ranuras de los tambores.

Nº Ramales	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Poleas c/ Rendimiento (η)	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88

Tabla 9: Rendimiento del aparejo

Por último, se revisa la Vida del Cable (Fatiga) y se comprueba que cumple con las características de funcionamiento.

$$W = \frac{17.000}{n} \cdot \left(10 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \frac{\frac{D}{d} - \frac{9}{b_1}}{\sigma_e + 40} \right)^2$$

Además, tras realizar todos los cálculos se comprueba, según la tipología de la grúa, se comprueba el Diámetro de cable [mm] y su Composición.

Diámetro del cable	Composición del cable
5 a 25 mm	6 x 19 (1+6+12) + 1
10 a 30 mm	6 x 37 (1+6+12+18) + 1
10 a 30 mm	6 x 36 (1+7+7.7+14) W.S. + 1

Ilustración 38: Composición de cables. Grúas Corrientes (giratorias y de cubierta)

Diámetro del cable	Composición del cable
10 a 25 mm	17 cordones (6+11) de (1+7) hilos y alma textil
	34 cordones (6+11+17) de (1+7) hilos y alma textil
	8 x 19 (1+6+12) + alma textil
	8 x 19 (1+9+9) S + alma textil*

*Recomendado para Grúas de Gran Altura de Elevación

Ilustración 39: Composición de cables. Grúas de Gran Altura de Elevación (torre, portacontenedores y vehículos grúa)

Diámetro del cable	Composición del cable
8 a 25 mm	6 x 19 (1+6+12) + 1 alma textil
10 a 30 mm	6 x 37 (1+6+12+18) + 1 alma textil
	6 x 36 (1+7+7.7+14) W.S. + 1 alma textil
20 a 40 mm	6 x 61 (1+6+12+18+24) + 1 alma textil
	6 x 54 (1+6+9+9.9+18) W.S. + alma textil

Ilustración 40: Composición de cables. Puentes Grúa (puentes, pórtico y consolas)

Diámetro del cable	Composición del cable
6 a 20 mm	6 x 7 (1+6) + 1
10 a 20 mm	6 x 19 (1+6+12) + 1
	6 x 37 (1+6+12+18) + 1
	6 x 19 (1+9+19) S + 1
	6 x 25 (1+6.6+12) F + 1
	6 x 36 (1+7+7.7+14) W.S. + 1

Ilustración 41: Composición de cables. Tornos y Cabestrantes

En las tablas anteriores, los cables denominados como W.S. son típicos de minería gracias a su resistencia a la estrepada (esfuerzo generado al tirar del cable por arranque con gran aceleración y carga máxima)

CÁLCULO DE POLEAS

Para poder obtener el valor del Diámetro de la Polea [mm] necesario primero es necesario haber calculado el *Diámetro del Cable*. Posteriormente, a partir de los coeficientes se obtiene el valor mínimo y a partir del cual se elige aquel, según las características de las poleas, el más adecuado.

$$D_{POLEA} [mm] = d_{cable} \cdot h_1 \cdot h_2$$

GRUPO		CABLE NORMAL			CABLE ANTIGIRATORIO		
FEM	DIN	POLEA DE CABLE	POLEA COMPENSADORA	TAMBOR	POLEA DE CABLE	POLEA COMPENSADORA	TAMBOR
M3	1 Bm	16	12,5	16	18	14	16
M4	1 Am	18	14	16	20	16	18
M5	2m	20	14	18	22,4	16	20
M7	3m	22,4	16	20	25	18	22,4
M7	4m	25	16	22,4	28	18	25
M7	5m	28	18	25	31,5	20	28

Tabla 11: Valores del Coeficiente h1

Wtot	≤ 5	6 a 9	> 10
h2	1,00	1,12	1,25

Tabla 12: Valores del Coeficiente h2

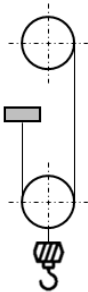
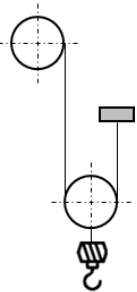
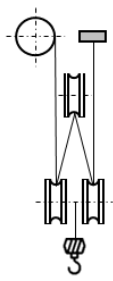
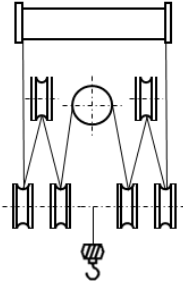
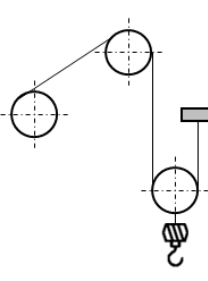
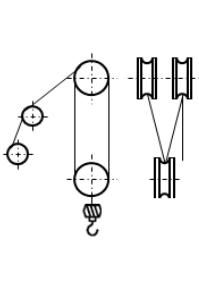
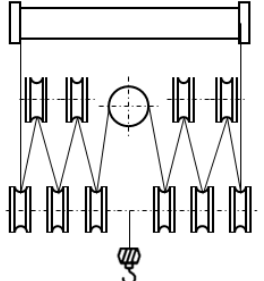
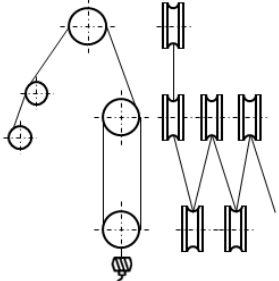
h2	Disposición del aparejo	
1		
1,12	 	 
1,25		

Tabla 13: Valores de h2 para diferentes disposiciones

Además, es necesario realizar el Cálculo a flexión de la llanta. Al estar la carga uniformemente repartida y considerando la misma como una viga con varios apoyos (radios), se obtiene, respectivamente, la resultante de las componentes radiales en el centro de dos brazos, el Momento de Flexión máximo y la Tensión a flexión máxima.

$$P = 2 \cdot S \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad M_{f_max} = \frac{P \cdot l}{16} \quad \sigma_f = \frac{P \cdot l}{16W}$$

Una vez realizado el cálculo a flexión de la llanta, para poder asegurar que no colapsa, es necesario conocer el Cálculo a pandeo de los radios. La solicitud de compresión deriva de la resultante de las componentes radiales (calculada anteriormente) y con ello se obtiene la tensión en los radios:

$$P = 2 \cdot S \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad \sigma = \frac{2 \cdot S \cdot \left(\sin\frac{\gamma}{2}\right)}{A} W$$

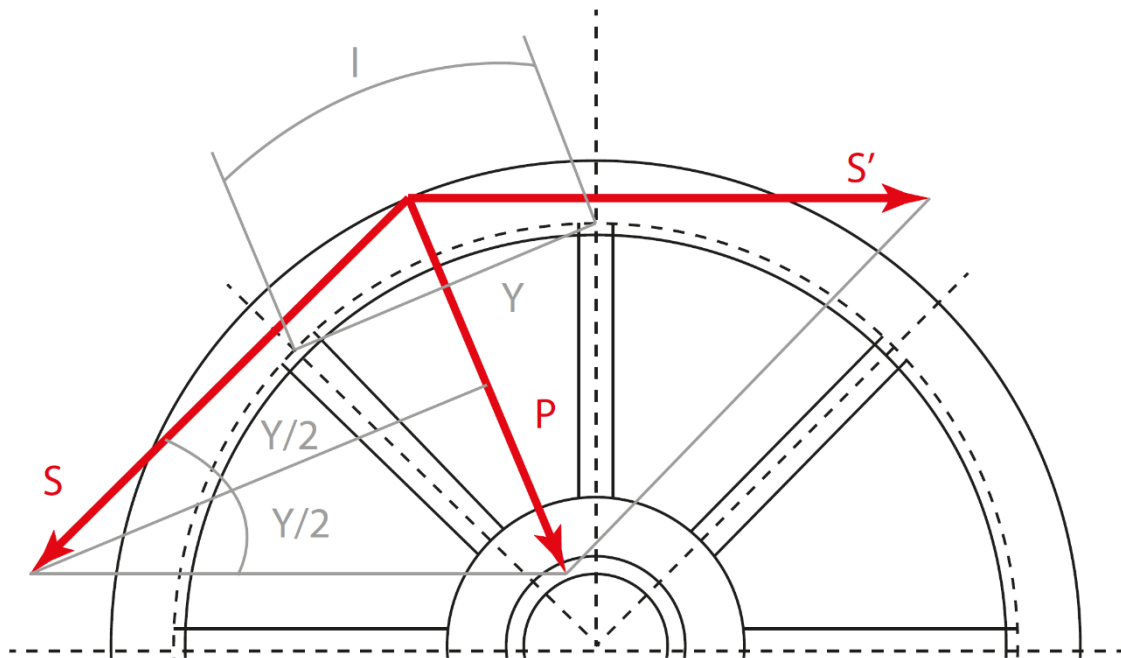


Ilustración 42: Esquema descomposición de fuerzas en las poleas y radios.

CÁLCULO DEL TAMBOR

En el caso de los tambores se procede de igual manera que en el caso anterior, considerando siempre el parámetro $h_2 = 1$. Con todo ello se obtiene el Diámetro del Tambor [mm] y la Longitud del Tambor [mm].

El tambor para cables de una grúa es uno de los componentes más importantes de la misma. Su función es enrollar cables de acero del mecanismo de elevación y remolque y, de esta forma, convierte el movimiento giratorio de la unidad de conducción en movimiento lineal del cable.

$$D_{\text{TAMBOR}} [\text{mm}] = d_{\text{cable}} \cdot h_1 \cdot h_2$$

GRUPO		CABLE NORMAL			CABLE ANTIGIRATORIO		
FEM	DIN	POLEA DE CABLE	POLEA COMPENSADORA	TAMBOR	POLEA DE CABLE	POLEA COMPENSADORA	TAMBOR
M3	1 Bm	16	12,5	16	18	14	16
M4	1 Am	18	14	16	20	16	18
M5	2m	20	14	18	22,4	16	20
M7	3m	22,4	16	20	25	18	22,4
M7	4m	25	16	22,4	28	18	25
M7	5m	28	18	25	31,5	20	28

Tabla 14: Valores del Coeficiente h_1

Diámetro del Cable	10	13	16	19	22	27	33	40	44
s	12	15	18	22	25	31	37	45	49
r	5,5	7,0	9,0	10,5	12,0	15,0	18,0	22,0	24,0
a	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0

Ilustración 43: Dimensiones de las ranuras de los tambores

Según la H_{elev} y el número de los ramales (i) se obtiene la longitud del cable requerida y en función del Diámetro del tambor se obtiene la longitud de la espiral. Para posteriormente obtener el número de espiras, que da lugar al cálculo de la longitud del tambor:

$$L_{\text{cable}} [\text{m}] = H_{\text{elev}} \cdot i \quad L_{\text{espiral}} = \pi \cdot D_{\text{tambor}}$$

$$N_{\text{Espiras}} = \frac{L_{\text{cable}}}{L_{\text{espiral}}} + \text{nº espiras muertas} = \frac{L_{\text{cable}}}{\pi \cdot D_{\text{TAMBOR}}} + 3$$

$$L_{\text{TAMBOR (min)}} [\text{mm}] = N_{\text{Espiras}} \cdot s \rightarrow L_{\text{TAMBOR}} [\text{mm}] = L_{\text{TAMBOR (min)}} + D_{\text{POLEA}}$$

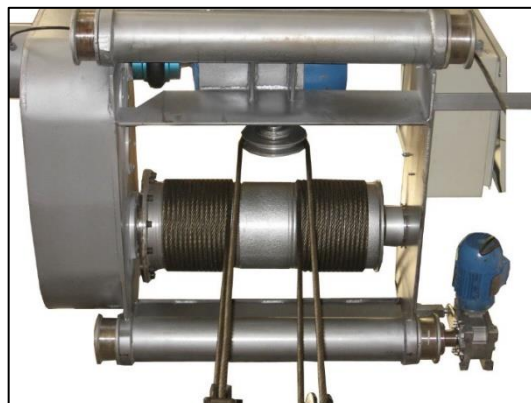


Ilustración 44: Tambor de un Puente Grúa sobre un carro

Según la tracción del cable, el diámetro del tambor y la tensión admitida por el material se determina, siguiendo las tablas, el espesor de la pared.

	Diámetro Tambor [mm]							
S [daN]	250	300	400	500	600	700	800	1000
500	4	4						
1000	5	5						
1500		6	6					
2000		8	7					
2500			8	8				
3000			9	9				
4000				11				
5000				12	12			
6000						13	13	
7000						14	14	
8000							15	
9000							16	16
10000							17	17

Ilustración 45: Espesor de la pared del tambor $\sigma = 80 \text{ MPa}$

	Diámetro Tambor [mm]							
S [daN]	250	300	400	500	600	700	800	1000
500	3	3						
1000	4	4						
1500		5	5					
2000		6	6					
2500			7	6				
3000			7	7				
4000				8				
5000				9	9			
6000					10	10		
7000					11	11		
8000						12		
9000							12	12
10000							13	13

Ilustración 47: Espesor de la pared del tambor $\sigma = 160 \text{ MPa}$

	Diámetro Tambor [mm]							
S [daN]	250	300	400	500	600	700	800	1000
500	3	3						
1000	4	4						
1500		4	4					
2000		5	5					
2500			6	6				
3000			6	6				
4000				7				
5000				8	8			
6000					9	8		
7000					9	9		
8000						10		
9000							11	10
10000							11	11

Ilustración 46: Espesor de la pared del tambor $\sigma = 240 \text{ MPa}$

Tracción Cable [kg]	Diámetro Cable [mm]	Paso [mm]	Diámetro del Tambor [mm]						
			250	300	400	500	600	700	800
500	8	9,5	4 (6)	4 (6)					
1000	10	12,0	6 (9)	6 (9)					
1500	13	15,0		8 (12)	7 (11)				
2000	16	18,0		9 (14)	8 (13)				
2500	16	18,0			10 (15)	10 (12)			
3000	19	22,0			11 (16)	11 (16)			
4000	22	25,0				12 (18)			
5000	24	27,0				14 (20)	14 (20)		
6000	27	31,0					15 (22)	14 (22)	
7000	29	33,0					16 (24)	16 (24)	
8000	31	35,0						17 (26)	
9000	31	35,0						19 (27)	18 (26)
10000	33	37,0						29 (28)	19 (27)

Ilustración 49: Espesor (h) [mm] de los Tambores soldados de acero 370 MPa y de fundición 180MPa (valores entre paréntesis)

r1	dif.adm.	p	h_min	r2_min	d1
1,6	+ 0,1	4,0	1,2	0,5	3
2,2		5,0	1,5	0,5	4
2,7		6,0	1,9	0,5	5
3,2		7,0	2,3	0,5	6
3,7		8,0	2,7	0,5	7
4,2		9,5	3,0	0,5	8
4,8		10,5	3,5	0,5	9
5,3		11,5	4,0	0,8	10
6,0	+ 0,2	13,0	4,5	0,8	11
6,5		14,0	4,5	0,8	12
7,0		15,0	5,0	0,8	13
7,5		16,0	5,5	0,8	14
8,0		17,0	6,0	0,8	15
8,5		18,0	6,0	0,8	16
9,0		19,0	6,5	0,8	17
9,5		20,0	7,0	0,8	18
10,0		21,0	7,5	0,8	19
10,5		22,0	7,5	0,8	20
11,0		24,0	8,0	0,8	21
12,0		25,0	8,5	0,8	22
12,5		26,0	9,0	0,8	23
13,0		27,0	9,0	0,8	24
13,5		28,0	9,5	0,8	25
14,0		29,0	10,0	0,8	26
15,0		30,0	10,5	0,8	27
16,0		31,0	10,5	0,8	28
		33,0	11,0	1,3	29
		34,0	11,5	1,3	30
17,0	+ 0,4	35,0	12,0	1,3	31
		36,0	12,0	1,3	32
18,0		37,0	12,5	1,3	33
		38,0	13,0	1,3	34
19,0		39,0	13,5	1,3	35
		40,0	13,5	1,3	36
20,0		41,0	14,0	1,3	37
		42,0	14,5	1,6	38
21,0		44,0	15,0	1,6	39
		44,0	15,0	1,6	40
22,0		45,0	15,5	1,6	41
		47,0	16,0	1,6	42
23,0		48,0	16,5	1,6	43
		49,0	16,5	1,6	44
24,0		50,0	17,0	2,0	45
		52,0	17,5	2,0	46
25,0		53,0	18,0	2,0	47
		54,0	18,0	2,0	48
26,0		55,0	18,5	2,0	49
		56,0	19,0	2,0	50
27,0		58,0	19,5	2,0	52
28,0		60,0	21,0	2,0	54
29,0		63,0	21,0	2,5	56
30,0		65,0	22,0	2,5	58
31,0		67,0	22,5	3,0	60
32,0					

Ilustración 48: Dimensiones de garganta

Una vez calculados todos los parámetros anteriores es necesario conocer el peso total del tambor. Para ello, considerando la densidad del acero ($\rho = 7,8 \text{ kg/dm}^3$) y el volumen total del tambor se determina su peso.

$$\text{Volumen}_{\text{EXT}} [\text{dm}^3] = \pi \cdot (R_{\text{EXT}})^2 \cdot l$$

$$\text{Volumen}_{\text{INT}} [\text{dm}^3] = \pi \cdot (R_{\text{INT}})^2 \cdot l$$

$$\text{Volumen}_{\text{TOTAL}} = \text{Volumen}_{\text{EXT}} - \text{Volumen}_{\text{INT}}$$

$$\text{Peso}_{\text{TOTAL}} = \rho \cdot \text{Volumen}_{\text{TOTAL}}$$

Posteriormente se dimensiona las vigas principales del carro. Para ello se considera el caso más desfavorable (cuando la carga se encuentra en el extremo del tambor). En el caso de tener más de un ramal la carga se dividirá en ambos extremos; en caso de ser un único ramal, el caso más desfavorable se encontrará en el extremo donde se enrolla el cable. Siguiendo el esquema de cargas y el punto más desfavorable:

$$Q_2 = Q_{\text{TAMBOR}}/2$$

$$Q_1 = Q_{\text{TAMBOR}}/2 + Q_{\text{ÚTIL}} + Q_{\text{GANCHO}}$$

*Se considera $\sigma_{\text{lim}} = 25 [\text{daN/mm}^2]$

**Se considera $CS = 2$

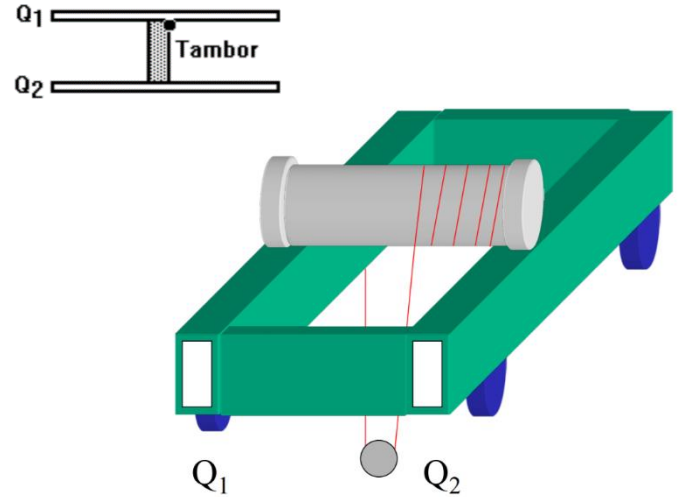


Ilustración 50: Cargas en el tambor

$$W [\text{mm}^3] = \frac{I}{y_{\text{max}}} = \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{h/2} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \quad M_f [\text{daN} \cdot \text{mm}] = \frac{P \cdot L}{4} \quad \sigma_{\text{eq}} [\text{daN/mm}^2] = \frac{M_f}{W}$$

$$\sigma_f [\text{daN/mm}^2] = \frac{M_f}{W} \quad \tau [\text{daN/mm}^2] = \frac{P/2}{A_c}$$

$$\sigma_{\text{eq}} [\text{daN/mm}^2] = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

De la misma forma se determinan las vigas testero teniendo en cuenta que estas deben tener la misma altura que las otras por cuestiones de fabricación:

$$\sigma_f [\text{daN/mm}^2] = \frac{M_f}{W} \quad \tau [\text{daN/mm}^2] = \frac{P/2}{A_c}$$

$$\sigma_{\text{eq}} [\text{daN/mm}^2] = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

Por último, tras haber definido las guías se calcula el peso total de la estructura:

$$P_{VPPAL} = A_p \cdot L_{VPPAL} \cdot \rho$$

$$P_{TES} = A_p \cdot L_{TES} \cdot \rho$$

$$P_{TOTAL} = 2 \cdot P_{VPPAL} + 2 \cdot P_{TES}$$

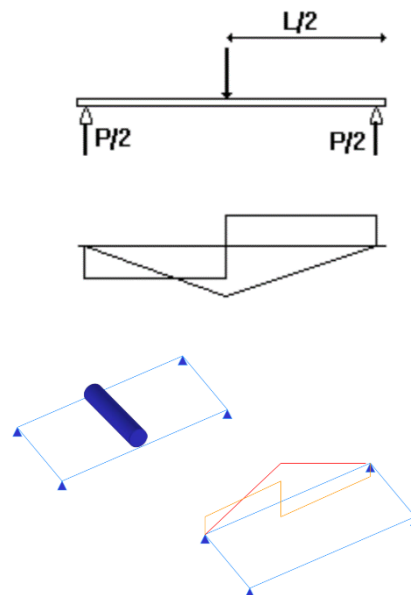


Ilustración 51: Diagrama de cargas del tambor

CÁLCULO DEL APAREJO

El aparejo es el elemento soporte de las poleas que tiene como objetivo fundamental evitar el aflojamiento del cable, que pasa desde la parte superior de la carga hasta la propia grúa, y estabiliza el movimiento de descenso del gancho sin carga útil.

Existen aparejos de traviesa única y de doble traviesa. En el primer caso, tiene la doble función de soportar tanto las poleas como los elementos de suspensión; hoy suelen encontrarse en desuso. En el caso de la segunda opción, una parte sostiene las poleas y la otra sostiene los elementos de suspensiones.

En este caso simplemente es necesario, teniendo en cuenta la configuración, considerar tanto el peso del gancho como el de las poleas:



Ilustración 52: Ejemplo de Aparejo

$$Q_{\text{APAREJO}} [\text{daN}] = Q_{\text{POLEAS}} + Q_{\text{GANCHO}}$$

La traviesa, tanto del gancho como de las poleas se calcula como una viga biapoyada con la carga en el centro. Para la traviesa del gancho:

$$M_f = \frac{Q \cdot l}{4}$$

$$W = \frac{I}{h/2} = \frac{l}{6} (b - d_1) \cdot h^2$$

$$\sigma = \frac{M_f}{W}$$

$$\tau = \frac{Q}{2h(b - d_1)}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2}$$

Por otro lado, para la traviesa de las poleas:

$$M_f = \frac{Q \cdot a}{4}$$

$$W = \frac{I}{d/2} = \frac{p \cdot d^3}{32}$$

$$\sigma = \frac{M_f}{W}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot Q}{p \cdot d \cdot 2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2}$$

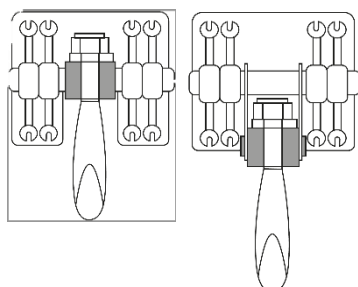


Ilustración 54: Aparejos de simple y doble polea

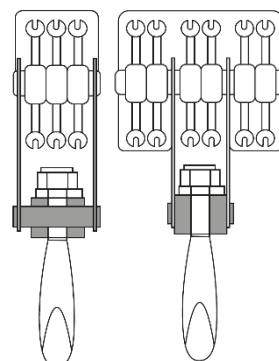


Ilustración 54: Aparejos de poleas discontinuas

SUBMENU RODADURA

La práctica totalidad de los aparatos de elevación utilizan como medio de rodadura, la rueda de acero sobre carril metálico. Únicamente los vehículos grúa y pórticos autoportantes emplean rodadura de tipo neumático-asfalto.

Esto implica la selección y cálculo de la rueda y el propio carril. Se parte, conociendo la carga que soportará cada rueda, de una estimación de ruedas, para después comprobar si la estimación es correcta y bien dimensionada o es necesario modificar el número o tipología de las ruedas. Aumentando el número de ruedas o su diámetro se alcanza finalmente la solución ajustada al problema.

Se distinguen carriles sobre hormigón para los pórticos y aquellos para los puentes grúa sobre los que se mueve este. En el primer caso, primero se obtiene el caso más desfavorable para la grúa y sus pesos de trabajo:

$$\Sigma M_1 = 0 \rightarrow (G_1 + G_2) \cdot X_1 + Q_{GRUA} \cdot 10 - R_1 \cdot (X_1 - X_2)$$

$$\Sigma M_2 = 0 \rightarrow (G_1 + G_2) \cdot X_2 - Q_{GRUA} \cdot 10 + R_2 \cdot (X_1 - X_2)$$

Despejando la ecuación de momentos para la grúa se obtienen las resistencias (R1 y R2) para la mitad de la estructura. Por ello, el peso que soporta cada pata será:

$$R_1' = \frac{R_1}{2} \quad / \quad R_2' = \frac{R_2}{2}$$

Cálculo del número de ruedas

$$d_{rueda} \geq \frac{R_1'/n}{P_{adm} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (K - 2r_1)} \quad / \quad n \geq \frac{R_1'}{d_{rueda} \cdot P_{adm} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (K - 2r_1)}$$

Comprobando el carril

$$P \text{ [MPa]} = \frac{P}{2b} \cdot \sqrt[4]{\frac{E_m}{4 \cdot E \cdot I}}$$

$$\eta \text{ [N}^4/\text{m]} = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot b^2 \cdot \rho \cdot E_m}{E \cdot I}}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \cdot \rho^{5/4}}{W} \cdot \frac{1}{\eta} < \sigma_y$$

El número de ruedas del carro:

$$d_1 \geq \frac{R}{P_{adm} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (K - 2r_1)} \quad R = \frac{G_1 + G_2}{Ruedas}$$

b·h [mm]	50 x 30	50 x 40	60 x 30	60 x 40
Peso [daN/m]	11,8	15,7	14,1	18,8

Tabla 15: Dimensiones y pesos del carril tipo Llantón

Abreviatura	Anchura cabeza (K)	b1	b2	b3	f1	f2	f3	h1	h2	h3	r1	r2	r3	r4	r5	Sección (A) [cm ²]	Peso [kg]	Momento Inercia (Ix) [cm ⁴]	Distancia CG (ex) [cm]	Momento Resistencia (Wx) [cm ³]	Momento Inercia (Iy) [cm ⁴]	Momento Resistencia (Wy) [cm ³]
A 45	45	125	54	24	14,5	11,0	8	55 ± 1	24,0	20,0	4	3	4	5	4	28,3	22,2	91	3,31	27,5	169	27
A 55	55	150	66	31	17,5	12,5	9	65 ± 1	25,5	25,0	5	5	5	6	5	40,7	32,0	182	3,88	46,9	333	41
A 65	65	175	78	39	20,0	14,0	10	75 ± 1	34,0	30,0	6	5	5	6	5	55,4	43,5	327	4,44	73,7	609	69
A 75	75	200	90	45	22,0	15,4	11	85 ± 1	39,5	35,0	8	6	6	8	6	72,1	55,5	545	5,00	109	1010	103
A 100	100	200	100	60	23,0	16,5	12	95 ± 1,5	45,5	40,0	10	6	6	8	6	95,6	75,2	888	5,21	170	1360	136
A 120	120	220	120	72	20,0	20,0	14	105 ± 1,5	55,5	47,5	10	6	10	10	6	129,0	101,3	1420	5,70	249	2370	215

Tabla 16: Dimensiones tipo Burbach

Material Resis. Tracción MIN [N/mm ²]		Padm [N/mm ²]	C1
Resistencia carril	Rueda portadora		
590	≤ 330	2,8	0,50
	410	3,6	0,63
	490	4,5	0,80
	590	5,6	1,00
≥ 690	740	7,0	1,25

Tabla 19: Coeficiente del Material (C1)

Diámetro Rueda Portadora d1 [mm]	C2 para v [m/min]														
	10,0	12,5	16,0	20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0	125,0	160,0	200,0	250,0
200	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72	0,66			
250	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72	0,66		
315	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72	0,66	
400	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72	0,66
500	1,15	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77	0,72
630	1,17	1,15	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82	0,77
710		1,16	1,14	1,13	1,12	1,1	1,07	1,04	1,02	0,99	0,96	0,92	0,89	0,84	0,79
800		1,17	1,15	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87	0,82
900			1,16	1,14	1,13	1,12	1,1	1,07	1,04	1,02	0,99	0,96	0,92	0,89	0,84
1000			1,17	1,15	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,87
1120				1,16	1,14	1,13	1,12	1,1	1,07	1,04	1,02	0,99	0,96	0,92	0,89
1250				1,17	1,15	1,14	1,13	1,11	1,09	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91

Tabla 18: Coeficiente del Número de Revoluciones (C2)

Duración mecanismo rueda [1 hora]	C3
hasta 16 %	1,25
16 % - 25 %	1,12
25 % - 40 %	1,00
40 % - 63 %	0,90
más de 63 %	0,80

Tabla 17: Coeficiente de Vida de la Rueda (C3)

Tipo	Dimensiones [mm]				Sección [cm ²]	Peso [kg/m]	Ix [cm ⁴]	Wx [cm ³]	ex [mm]
	h	b	k	d					
Preussen 6	134	105	58	11	42,6	33,4	1040	154	67,3
Preussen 8	138	110	72	14	52,3	41,0	1350	193	70,0
Preussen 15	144	110	72	15	57,4	45,1	1580	217	73,0
Material: Acero de 60 kg									
Standard de 46 kg	145	134	62,0	15,0		46,303	1588	204	67,2
S.N.C.F. 50 kg	153	140	67,4	15,5		50,568			

Tabla 20: Dimensiones tipo Vignole

Abreviatura	Anchura cabeza [k]	Sección [mm]	Peso [kg/m]	Jx [cm ⁴]	ex [mm]	Wx [cm ³]	Jy [cm ⁴]	Wy [cm ³]
100	100	73,2	57,5	414	4,09	101	541	108
120	120	89,2	70,1	499	4,07	123	962	160

Tabla 21: Dimensiones tipo Plano

Tipo	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	f [mm]	g [mm]	h [mm]	Sección [cm ²]	Peso [kg/m]
I-70/9	70	65	9	6	8	6	34	9,37	7,30
I-90/16	90	75	16	8	10	8	42	16,90	13,25

Tabla 22: Cotas de las grúas de cabina (I70/9 & I90/16)

Tipo	Sección [cm ²]	Peso [kg/m]	e [cm]	Momento inercia [cm ⁴]		Mod. Resistencia [cm ³]		Radio de giro [cm]	
				Ix	Iy	Wx	Wy	ix	iy
I-70/9	9,37	7,30	1,95	41,1	19,1	9,2	5,41	2,08	1,42
I-90/16	16,90	13,25	2,65	102	57,7	21,2	12,8	2,45	1,83

Tabla 23: Características mecánicas de las grúas de cabina (I70/9 & I90/16)

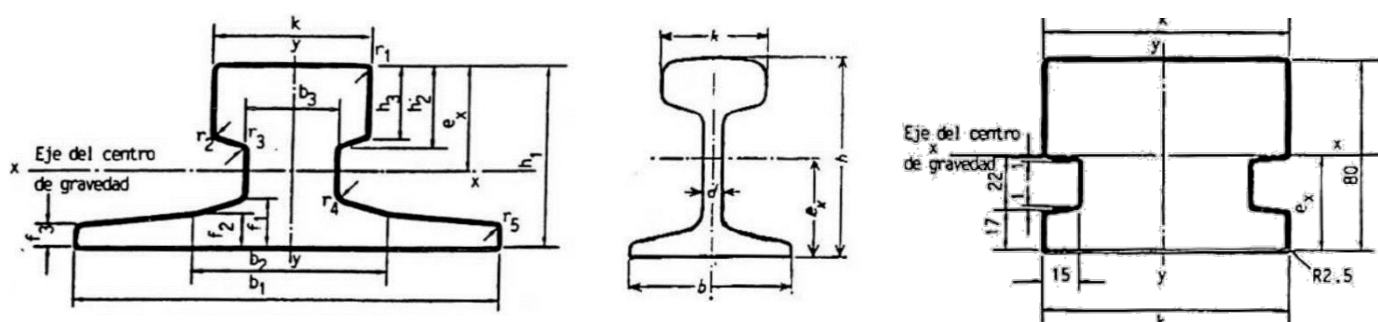


Ilustración 55: DE izquierda a derecha. Carril tipo: Burbach, Vignole y Plano

Además, cuando el carril se apoya sobre una cimentación de hormigón (longitudinalmente), también es necesario comprobar la sollicitación a flexión del carril teniendo en cuenta la deformación elástica del hormigón. Deducido de las siguientes ecuaciones:

$$P_{\text{esp}} = \frac{P}{2 \cdot b} \sqrt{\frac{E_m}{4 \cdot E \cdot I}}$$

$$\sigma = \frac{0,5 \cdot P^{5/4}}{W \cdot \eta}$$

$$\eta = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot b^2 \cdot P \cdot E_m}{3 \cdot E \cdot I}}$$

Para el segundo caso, cuando se refiere a la rodadura y carriles de puentes grúa, se deben dimensionar estos frente a rigidez. Para ello:

$$f = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

Cumpliendo $f < L/250$ // $f < L/1000$

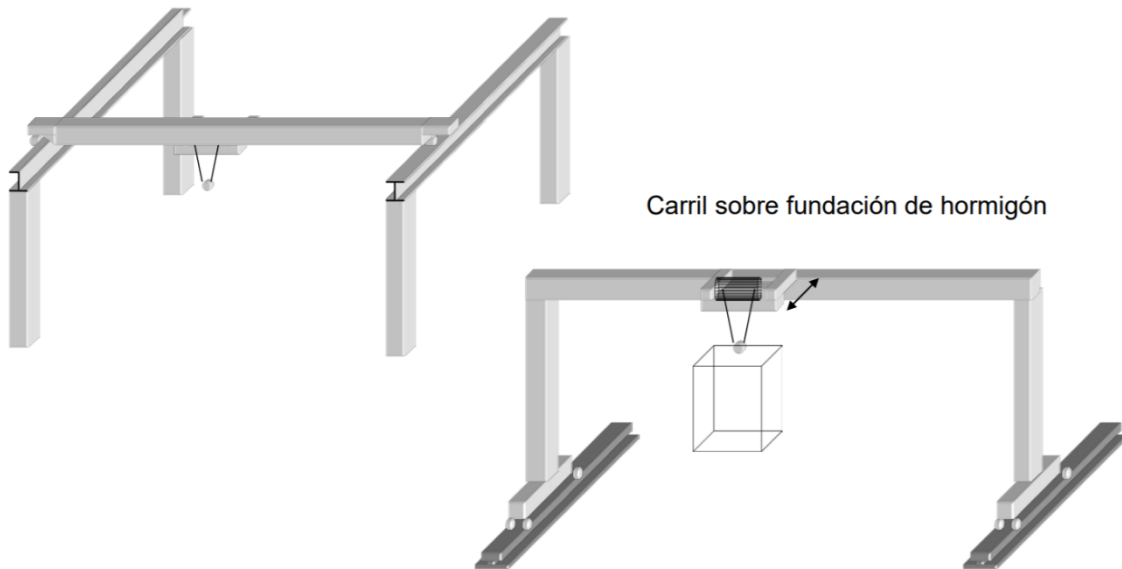


Ilustración 56: Carril elevado (izquierda). Carril sobre cimentación de hormigón (derecha)

SUBMENU MOTORES

Los motores se clasifican según el tipo de servicio, potencia y factor de marcha para el que está destinado. Para cada modelo se indican las formas constructivas y protecciones disponibles.

Existe gran diversidad en la tipología de motores empleados entre los que distinguen: de corriente continua (elevación y giro) con potencias elevadas e índices de utilización altos, de jaula (traslaciones) y los de anillos rozantes.

En el caso de los motores se diferencian aquellos dedicados para: la elevación de la carga, la traslación del carro y la traslación de la grúa.

Se obtiene la Potencia de Elevación mínima necesaria para después encontrar el motor que mejor se adapta a las características obtenidas. Siempre se aproxima al alza.

$$G_2[\text{daN}] = Q_u + Q_{\text{SPREADER}} + Q_{\text{APAREJO}}$$

$$P_{\text{elev}} [\text{CV}] = \frac{G_2 \cdot V_{\text{elev}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{4500 \cdot \eta}$$

$$M_{\text{freno}} [\text{Nm}] = M_{\text{max(motor)}} \cdot K$$

Potencia Nominal		Tamaño Constructivo	Levanta-escobillas?	Tensión Servicio [V]	Tipo	Peso Neto [kg]	Momento Inercia [kgm ²]	Valores de servicio a Potencia Nominal					Relación Par Máx. Vs Nominal	Características	
CV	kW							Velocidad [rpm]	Rendimiento [η]	Factor Potencia [cos]	Intensidad 380 V [A]	Par Nominal [Nm]		Tensión[V]	Intensidad[A]
5,5	4		SIN	220/380	1LS1 133-4 AA2	75	0,03	1410	77	0,8	99	27	2,8	130	21
7,5	5,5		SIN	220/380	1LS1 135-4 AA2	80	0,035	1410	82	0,85	12	37	2,7	170	22
10	7,5		SIN	220/380	1LS1 163-4 AA2	110	0,068	1425	85	0,82	16,3	50	3,0	180	27
15	11		SIN	220/380	1LS1 166-4 AA2	125	0,09	1440	87	0,83	23	74	3,4	250	26
20	15	180 L	SIN	220/380 500	1LS2 136-4 AA2 -4AA3	215	0,23	1445	88	0,84	31	101	4,0	250	37
25	18,5	200 L	SIN	220/380 500	1LS2 155-4 AA2 -4AA3	285	0,39	1450	89	0,85	37	124	3,8	215	54
30	22	200 L	SIN	220/380 500	1LS2 156-4 AA2 -4AA3	305	0,43	1450	90	0,86	43	148	4,0	250	54
40	30	225 M	SIN	220/380 500	1LS2 176-4 AA2 -4AA3	400	0,76	1455	91,5	0,88	57	201	3,9	165	115
50	37	250 M	SIN	220/380 500	1LS2 185-4 AA2 -4AA3	555	1,02	1460	90,5	0,88	71	247	3,8	180	125
60	45	250 M	SIN	220/380 500	1LS2 186-4 AA2 -4AA3	595	1,16	1465	91,5	0,88	85	300	4,2	230	121
82	60	280 S	SIN	220/380 500	1LS2 204-4 AA2 -4AA3	745	1,9	1470	92,5	0,88	112	392	4,0	255	145
100	75	280 M	SIN	220/380 500	1LS2 206-4 AA2 -4AA3	820	2,17	1475	93	0,88	138	497	4,0	305	150
125	90	315 S	SIN	220/380 500	1LS2 224-4 AA2 -4AA3	980	3,1	1475	93,5	0,88	165	582	3,8	315	175
150	110	315 M	SIN	220/380 500	1LS2 226-4 AA2 -4AA3	1070	3,65	1475	94	0,9	200	712	4,0	380	175
180	132	355	SIN	380 500	1LS4 354-4 AA1 -4AA3	1400	4,9	1475	93	0,9	240	853	3,6	395	205
210	155	355	SIN	380 500	1LS4 355-4 AA1 -4AA3	1450	5,5	1480	93,5	0,9	280	1000	3,9	475	198
250	185	355	SIN	380 500	1LS4 356-4 AA1 -4AA3	1550	6,2	1480	94	0,9	330	1120	4,2	580	192
315	230	400	SIN	380 500	1LS4 404-4 AA1 -4AA3	2000	11	1485	94,5	0,91	406	1480	3,7	455	305
390	285	400	SIN	380 500	1LS4 406-4 AA1 -4AA3	2150	13	1485	95	0,91	500	1830	3,9	570	300
485	355	450/1	SIN	380 500	1LS4 454-4 AA1 -4AA3	2800	20	1490	95	0,92	620	2270	4,1	630	340
610	450	450/2	SIN	380 500	1LS4 456-4 AA1 -4AA3	3100	24	1490	95	0,92	780	2890	4,1	790	345

Tabla 24: Motores Eléctricos

Con respecto a la traslación del carro el principal parámetro consiste en permitir que el carro comience a moverse, es decir, la *Potencia de Arranque*.

$$P_w = \frac{(G_1 + G_2) \cdot V_{tras} [m/s] \cdot W}{4,5 \cdot 10^6 \cdot \eta}$$

W	Cojinetes de Rodamientos	7
	Cojinetes de Traslación	20

Tabla 25: Parámetro W de Traslación

Se pasa a comprobar el *Par de Arranque*:

$$GD_1 \text{ (lineal)} = \frac{(G_1 + G_2) \cdot \left(\frac{V_{tras}}{\pi \cdot n_1}\right)^2}{\eta} / \quad GD_2 \text{ (rotativo)} = GD_2^2 \cdot \frac{n_2^2}{n_1^2}$$

$$M_b \text{ [daN} \cdot \text{m]} = \frac{\Sigma GD_1^2 \cdot n_1}{375 \cdot t_a} / \quad M_w \text{ [daN} \cdot \text{m]} = \frac{P_w \cdot 716}{n_1}$$

$$M_a \text{ [daN} \cdot \text{m]} = M_b + M_w$$

Si $M_{max} > M_a \rightarrow OK$

Además, es necesario calcular los frenos necesarios para el correcto funcionamiento de la unidad, ya que tiene que ser capaz de regular la velocidad del mismo para controlar la carga correctamente. Existen dos tipologías de freno principalmente: de mordaza y de disco.

$$M_{freno} \text{ (mordaza)} = 4 \cdot b \cdot r^2 \cdot P \cdot \tan(\psi) \cdot \alpha \quad \alpha = \frac{\pi}{4}$$

$$M_{freno} \text{ (disco)} = \alpha \cdot \tan(\psi) \cdot P \cdot (r_e^3 - r_i^3) \cdot \frac{1}{3} \quad \alpha \geq \frac{\pi}{4}$$

Por último, es necesario conocer la relación de la transmisión para el circuito de elevación, mediante:

$$i = \frac{n_m [rpm] \cdot \pi \cdot d_{tambor} \cdot n_r (st)}{v_{elev} \cdot n_r (a)} \quad W_{tambor} = \frac{v_{elev}}{R_{tambor}}$$

En cuanto a la *Potencia de Traslación*:

$$P_w = \frac{(G_1 + G_2 + P_{est(grúa)}) \cdot V_{tras} [m/s] \cdot W}{4,5 \cdot 10^6 \cdot \eta}$$

$$(\text{en caso de viento considerar}) P_v = \frac{S \cdot v_w}{4500 \cdot \eta} \cdot F_v \rightarrow P [\text{CV}] = P_w + P_v$$

Se pasa a comprobar la traslación:

$$GD_1 (\text{lineal}) = \frac{(G_1 + G_2 + P_{est(grúa)}) \cdot \left(\frac{v_{tras}}{\pi \cdot n_1}\right)^2}{\eta} \quad / \quad GD_2 (\text{rotativo}) = GD_2^2 \cdot \frac{n_2^2}{n_1^2}$$

$$M_b [\text{daN} \cdot \text{m}] = \frac{\Sigma GD_1^2 \cdot n_1}{375 \cdot t_a} \quad / \quad M_w [\text{daN} \cdot \text{m}] = \frac{P_w \cdot 716}{n_1}$$

$$M_a [\text{daN} \cdot \text{m}] = M_b + M_w$$

Si $M_{\max} < M_a \rightarrow \text{OK}$

Altura del elemento por encima del suelo		Viento límite de servicio					Viento máximo				
m	ft	Velocidad [Vw]			P aerodinám.		Velocidad [Vw]			P aerodinám.	
		[m/s]	[km/h]	[mph]	[daN/m2]	[lbs/sq-ft]	[m/s]	[km/h]	[mph]	[daN/m2]	[lbs/sq-ft]
0 de 20	0 a 65	20	72	45	25	5	36	130	80	80	16
20 a 100	65 a 325						42	150	95	110	22
más de 100	más de 325						46	165	105	130	26

Ilustración 57: Tabla para el cálculo de la interacción del viento en el Circuito de Traslación

De igual forma que para el circuito de elevación es necesario conocer la relación de transmisión para el circuito de traslación. Con ecuaciones similares, como las siguientes:

$$i = \frac{n_m [\text{rpm}] \cdot \pi \cdot d_{rueda}}{v_{tras}} \quad W_{rueda} = \frac{v_{tras}}{R_{rueda}}$$

El cálculo para el circuito de traslación de los frenos se realiza de igual manera, lo único, es necesario tener en cuenta todos los datos referidos a este circuito (no es lo mismo el par que se necesita frenar en un circuito que en el otro, por ejemplo), por lo demás, el cálculo es idéntico (misma formulación). Sirva como recordatorio para ambas tipologías de frenos:

$$M_{freno} (\text{mordaza}) = 4 \cdot b \cdot r^2 \cdot P \cdot \tan(\psi) \cdot \alpha \quad \alpha = \frac{\pi}{4}$$

$$M_{freno} (\text{disco}) = \alpha \cdot \tan(\psi) \cdot P \cdot (r_e^3 - r_i^3) \cdot \frac{1}{3} \quad \alpha \geq \frac{\pi}{4}$$

Por último, es necesario conocer si el par de arranque es suficiente para comenzar a trasladar la estructura completa. Para ello la comprobación consta de:

$$M_b = \frac{\Sigma GD_1^2 \cdot n_1}{375 \cdot t_a} \quad M_w = \frac{P_w \cdot 716}{n_1}$$

$$GD_1^2 = \frac{10000 \cdot d^2}{\eta} \quad \& \quad GD_1^2 = GD_2^2 \cdot \frac{n_2^2}{n_1^2} \rightarrow \Sigma GD_1^2$$

$$M_A = M_b + M_w \quad \rightarrow \quad M_{\max \text{ motor}} \geq M_A \quad (\text{OK})$$



ANEXO III: EJERCICIO PRÁCTICO

En el presente Anexo se procede a realizar diferentes ejercicios prácticos, del libro de problemas, mediante el programa desarrollado, por un lado, y mediante la manera tradicional con todos los cálculos teóricos expresados. Pese a que no se muestran todas las combinaciones posibles se trata de una muestra de muchas de las situaciones. Se seguirá testando el resto de las problemáticas posibles existentes y que vayan surgiendo.

SPREADER

Para la parte relativa al **Spreader** se analizará la comparativa del **Ejercicio B1.1**:

Datos

Carga = 12.500 daN
 Contenedor = 3.970 daN
 A = 1.000 mm / B = 2.000 mm / C = 2.000 mm / D = 2.500 mm
 Tramo C – bC = 250 mm / hC = 500 mm / eC = 15 mm
 Tramo B – bB = 226 mm (auto) / hB = 426 mm (auto) / eB = 8 mm
 Tramo A – bA = 210 mm (auto) / hA = 410 mm (auto) / eA = 8mm
 Resistencia cable = 180 kg/mm²
 Frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas
 Duración cable: 25.000h

Resolución

$$Q_e = (Q_{\text{útil}} + Q_{\text{contenedor}})/4 = (12.500 + 3.970)/4 \rightarrow \underline{Q_e = 4.117 \text{ daN}}$$

$$M_f = 4.117 \cdot 5 \rightarrow \underline{M_f = 20.585 \text{ daN} \cdot \text{m}}$$

$$I_c = \frac{1}{12} \cdot (b_{\text{Cext}} \cdot h_{\text{Cext}}^3 - b_{\text{Cint}} \cdot h_{\text{Cint}}^3) = \frac{1}{12} \cdot (250 \cdot 500^3 - 220 \cdot 470^3) \rightarrow \underline{I_c = 7 \cdot 10^8 \text{ mm}^4}$$

$$W_c = \frac{I_c}{h_c/2} = \frac{7 \cdot 10^8}{250/2} \rightarrow \underline{W_c = 2,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^3}$$

$$A_c = 500 \cdot 300 \rightarrow \underline{A_c = 15.000 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_c = \frac{M_f}{W_c} = \frac{20.585 \cdot 10^3}{2,8 \cdot 10^6} \rightarrow \underline{\sigma_c = 7,35 \text{ MPa}}$$

$$\tau_c = \frac{Q_e}{A_c} = \frac{4.117}{15.000} \rightarrow \underline{\tau = 0,27 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{7,35^2 + 3 \cdot 0,27^2} \rightarrow \underline{\sigma_{eq} = 73,6 \text{ MPa}}$$

$$CS(C) = \frac{260}{73,6} \rightarrow \underline{CS(C) = 3,53 > 3 \text{ (sobredimensionado)}}$$

Ajustando hC' = 450 mm / eC' = 12 mm...

$$\underline{CS'(C) = 2,47 \text{ (OK)}}$$

Project Name

◀ ▶

Spreader

Datos

Q Útil [daN]	1250c	Q Conten [daN]	3970
Material	A42 ▾	Tensión límite [MPa]	260

Dimensiones

tramo A [mm]	1000	tramo B [mm]	2000
tramo C [mm]	2000	tramo D [mm]	2500

Cálculo de las secciones

Tramo C	Tramo B	Tramo A
b [mm] = 250	b [mm] = 226	b [mm] =
h [mm] = 450	h [mm] = 426	h [mm] =
e [mm] = 12	e [mm] = 	e [mm] =
N = 2.48	N = 	N =

Peso Spreader [daN]

- Ganchos
- Cucharas
- Spreader
- Cables
- Poleas
- Aparejo
- Tambor
- Motores
- Rodadura
- Carril

© Ienacio Baraza Cebrián (2020)

Transportes y Mantenimiento Industrial

Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 59: Cálculo del Spreader. Nuevo programa de Grúas-Elementos

De la misma forma que el tramo C...

$$\underline{CS(B) = 2,45}$$

$$\underline{CS(A) = 6,45 \text{ (sobredimensionado, se considera OK por limitación)}}$$

Se considera tramo D (=) tramo A...

$$\text{Peso(C)} = ((450 \cdot 250) - (426 \cdot 226)) \cdot \frac{8}{10^6} \cdot 2.000 \rightarrow \underline{\text{Peso(C)} = 260 \text{ daN}}$$

$$\text{Peso(B)} = ((426 \cdot 226) - (410 \cdot 210)) \cdot \frac{8}{10^6} \cdot 3.000 \rightarrow \underline{\text{Peso(B)} = 244 \text{ daN}}$$

$$\text{Peso(A)} = ((410 \cdot 210) - (394 \cdot 194)) \cdot \frac{8}{10^6} \cdot 2.000 \rightarrow \underline{\text{Peso(A)} = 154 \text{ daN}}$$

$$\text{Peso(D)} = ((410 \cdot 210) - (394 \cdot 194)) \cdot \frac{8}{10^6} \cdot 2.500 \rightarrow \underline{\text{Peso(D)} = 193 \text{ daN}}$$

$$P_{\text{tramos}} = 4 \cdot (P(A) + P(B) + P(C)) + 2 \cdot P(D) \rightarrow \underline{P_{\text{tramos}} = 3.018 \text{ daN}}$$

$$P_{\text{anclaje}} = \frac{1}{3} \cdot P_{\text{tramos}} = \frac{1}{3} \cdot 3.018 \rightarrow \underline{P_{\text{anclaje}} = 1.006 \text{ daN}}$$

$$P_{\text{total}} = P_{\text{tramos}} + P_{\text{anclaje}} = 3.018 + 1.006 \rightarrow \underline{P_{\text{total}} = 4.024 \text{ daN}}$$

Project Name

Spreader

Datos

Q Útil [daN] 12500 Q Conten [daN] 3970

Material A42 Tensión límite [MPa] 260

Dimensiones

tramo A [mm] 1000 tramo B [mm] 2000

tramo C [mm] 2000 tramo D [mm] 2500

Cálculo de las secciones

Tramo C	Tramo B	Tramo A
b [mm] = 250	b [mm] = 226	b [mm] = 210
h [mm] = 450	h [mm] = 426	h [mm] = 410
e [mm] = 12	e [mm] = 8	e [mm] = 8
N = 2.48	N = 2.47	N = 6.69 (2 - 2.5)

Peso Spreader [daN] 4027.05

- Ganchos
- Cucharas
- Spreader
- Cables
- Poleas
- Aparejo
- Tambor
- Motores
- Rodadura
- Carril

© Ignacio Baraza Cebrián (2020)

Transportes y Manutención Industrial

Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 60: Cálculo del Spreader. Nuevo programa de Grúas-Elementos

CUCHARAS

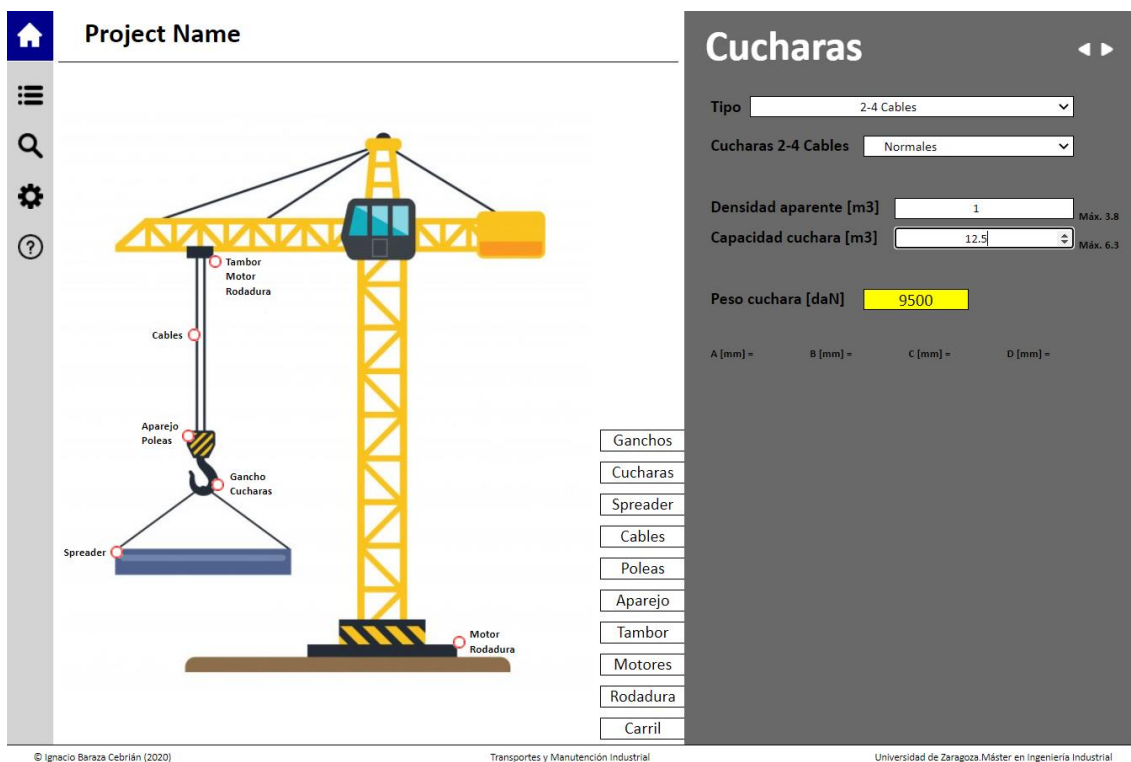
Para el submenú referente a **Cucharas** también se ejemplificará con el inicio del **Ejercicio B1.1**:

Datos

Carga = 12.500 daN
Cuchara de 2 cables
Densidad aparente = 1 T/m³
Capacidad = 12,5 m³

Resolución

Tabla 1.6 → **Peso Cuchara = 9.500 daN**



The screenshot shows the 'Grúas-Elementos' software interface. On the left, a crane diagram is displayed with labels for various components: Tambor Motor Rodadura, Cables, Aparejo Poleas, Gancho Cucharas, Spreader, and Motor Rodadura. The main configuration panel on the right is titled 'Cucharas' and contains the following settings:

- Tipo: 2-4 Cables
- Cucharas 2-4 Cables: Normales
- Densidad aparente [m3]: 1 (Máx. 3,8)
- Capacidad cuchara [m3]: 12,5 (Máx. 6,3)
- Peso cuchara [daN]: 9500
- Dimensions: A [mm] =, B [mm] =, C [mm] =, D [mm] =

At the bottom right, a list of components is shown, including: Ganchos, Cucharas, Spreader, Cables, Poleas, Aparejo, Tambor, Motores, Rodadura, and Carril.

Ilustración 61: Calculo de Cucharas. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Ganchos/Cables

Para la parte relativa al **Gancho** y los **Cables** se analizará la comparativa del **Ejercicio B2.1**:

Datos

Carga = 12.000 daN

Diámetro polea = 1.000mm

Resistencia cable = 180 kg/mm²

Frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas

Duración cable: 25.000h

Resolución

$Q_{\text{util}} = 12.000 \text{ daN} \rightarrow \text{Tabla B1.1 (gancho)} \rightarrow \underline{\underline{85 \text{ daN}}}$

$Q_{\text{TOTAL}} = 12.000 + 85 = 12.085 \text{ daN}$

Tabla B2.17 \rightarrow **Grupo M8**

Tabla B2.18 \rightarrow **$K_c = 0,375$**

Tabla B2.19 \rightarrow **$\eta = 0,99 / i = 2$**

Considerando 2 ramales

$$S = \frac{Q_u + Q_g}{i \cdot \eta} = \frac{12.000 + 85}{2 \cdot 0,99} \rightarrow \underline{\underline{S = 6103,5 \text{ daN}}}$$

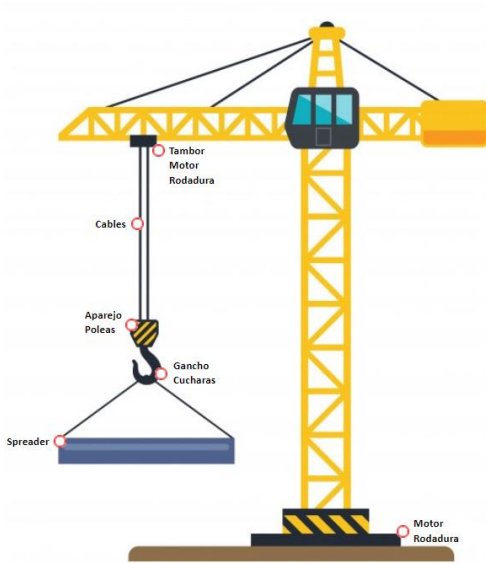
$$d_{\text{cable}} = K_c \cdot \sqrt{S} = 0,375 \cdot \sqrt{6103,5} \rightarrow \underline{\underline{d_{\text{cable}} = 29,29 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm}}}$$

Tabla B2.10 \rightarrow **Industria genérica / Aplicación minería**

$$W = \frac{170.000}{n} \cdot \left(10 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot \frac{\frac{D}{d} - \frac{9}{b_1}}{\sigma_e + 40} \right)^2 = \frac{170.000}{1} \cdot \left(10 \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot \frac{\frac{1000}{30} - \frac{9}{1}}{85,5 + 40} \right)^2 \rightarrow$$

$$\underline{\underline{W = 691.243,9}}$$

Project Name



Ganchos
Cucharas
Spreader
Cables
Poleas
Aparejo
Tambor
Motores
Rodadura
Carril

Ganchos

Tipo ☒ Simple ☐ Doble

Carga Útil [daN]

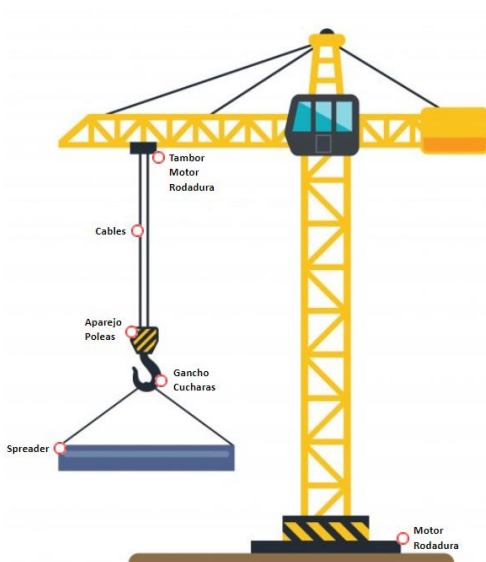
Peso gancho [daN]

$a1 [mm] = 125$ $b1 [mm] = 180$ $d3 [mm] = Rd 72$ $v [mm] = 315$
 $a2 [mm] = 100$ $b4 [mm] = 34$ $d5 [mm] = 60$ $u1 [mm] = 127$

© Ignacio Baraza Cebrián (2020) Transportes y Mantenimiento Industrial Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 63: Cálculo de Ganchos. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Project Name



Ganchos
Cucharas
Spreader
Cables
Poleas
Aparejo
Tambor
Motores
Rodadura
Carril

Cables

Tipo ☒ Normal ☐ Peligroso/Antig. Resistencia ☒ 180 kg/mm² ☐ 200 kg/mm²

Vida Real [h]

Servicio

Grupo
Kc
Zp

Carga Total [daN]

Nº Ramales

Vida del Cable

Diámetro Polea [mm]

Diámetro Cable [mm]

Tipo de Flexión

Coefficiente de forma de garganta

Coefficiente de forma del cable

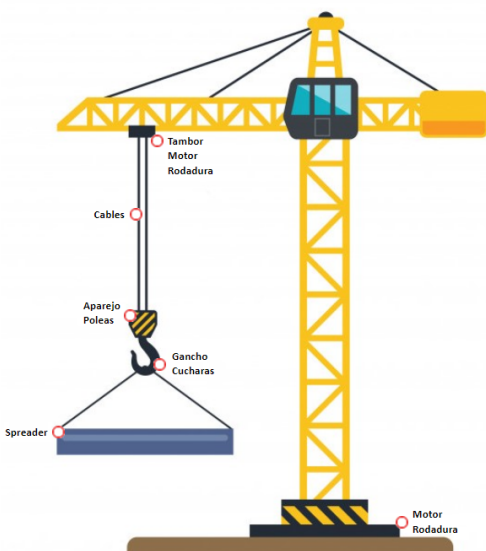
b1 b2

Vida del cable [ciclos]

© Ignacio Baraza Cebrián (2020) Transportes y Mantenimiento Industrial Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 63: Cálculo de Vida del Cable. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Project Name



Ganchos

Cucharas

Spreader

Cables

Poleas

Aparejo

Tambor

Motores

Rodadura

Carril

Cables

Tipo ☒ Normal ☐ Peligroso/Antig.

Resistencia ☒ 180 kg/mm² ☐ 200 kg/mm²

Vida Real [h]

Servicio

Grupo

Kc

Zp

Carga Total [daN]

Nº Ramales

Diámetro min [mm]

Vida del Cable [h]

Tipo de Grúa

Tipo de Cable

5 a 25 mm 6x19(1+6+12)+1

10 a 30 mm 6x37(1+6+12+18)+1

10 a 30 mm 6x36(1+7+7.7+14)WS+1

© Ignacio Baraza Cebrián (2020)
Transportes y Manutención Industrial
Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 64: Cálculo del Cable. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Poleas

En el caso de las **Poleas** se analiza el **Ejercicio B3.1**:

Datos

Carga = 12.500 daN (útil + elementos suspensión)

Aparejo de 1 Polea

Ramales = 2

$D_{\text{cable}} = 38 \text{ mm}$ (Anti giratorio)

Frecuencia aproximada igual de carga pequeñas, medianas y máximas

Duración cable: 6.300h

Resolución

Tabla B2.17 → **Grupo M6**

Tabla B3.8 → **$h1 = 25$**

Figura B3.12 → **$h2 = 1$**

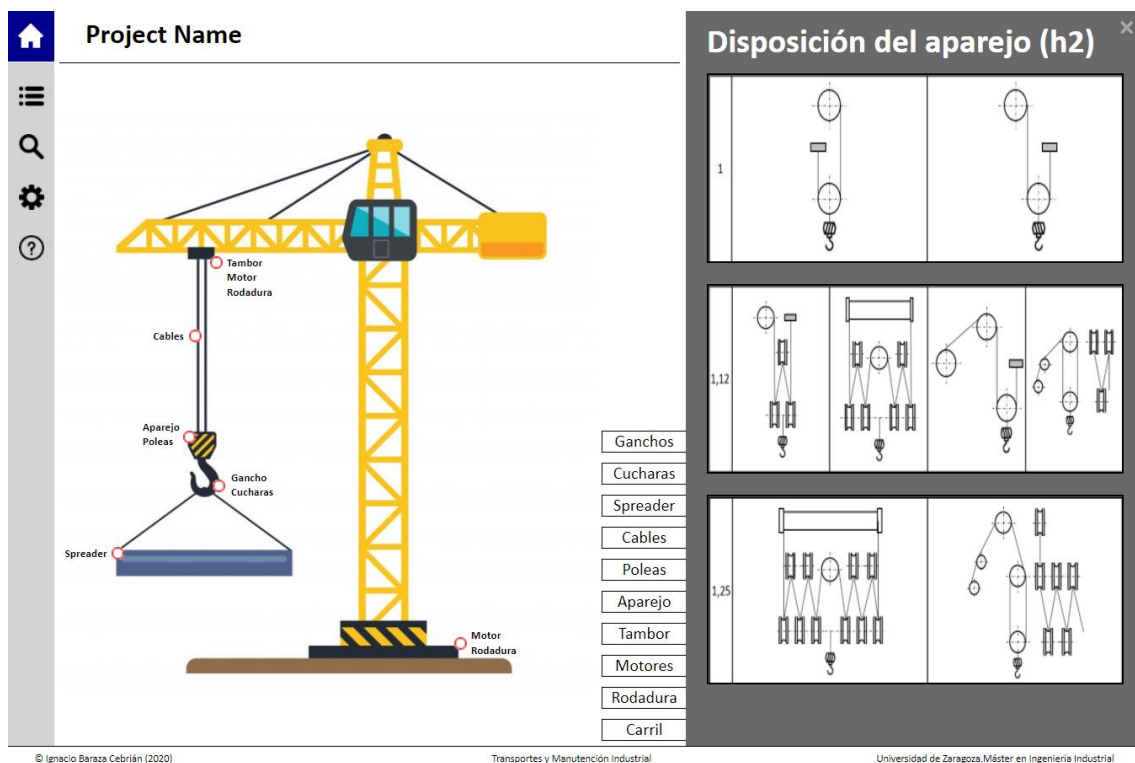


Ilustración 65: Cálculo de Poleas. Nuevo programa de Grúas-Elementos

$$D_{\text{polea}} = d_{\text{cable}} \cdot h1 \cdot h2 = 38 \cdot 25 \cdot 1 \rightarrow \underline{D_{\text{polea}} = 950 \text{ mm (1000 mm)}}$$

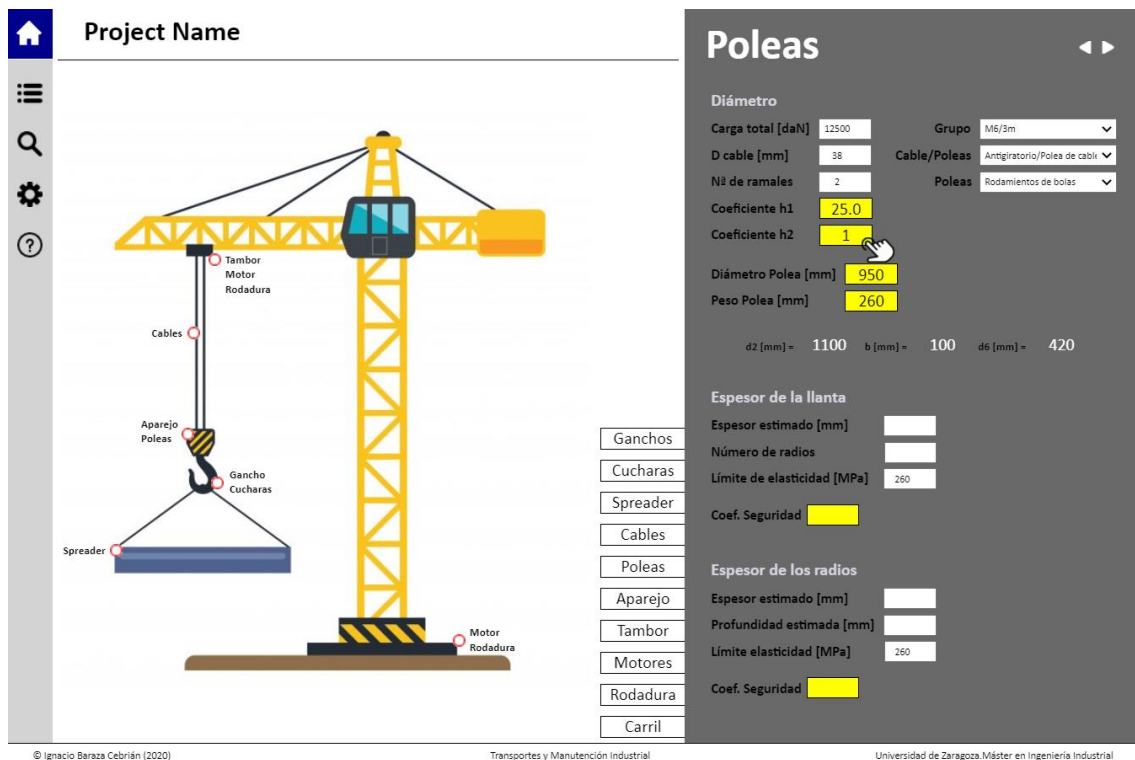


Ilustración 66: Cálculo de Poleas. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Se estima el **espesor = 8 mm** // Se estiman **número de radios = 8**

$$S = \frac{Q_{total}}{ramales} = \frac{12.500}{2} \rightarrow \underline{S = 6.250 \text{ daN}}$$

$$\gamma = \frac{360}{n^{\circ}radios} = \frac{360}{8} \rightarrow \underline{\gamma = 45^{\circ}}$$

$$l = \frac{\pi \cdot D_1}{8} = \frac{\pi \cdot 950}{8} \rightarrow \underline{l = 373,1 \text{ mm}}$$

$$P = 2 \cdot S \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right) = 2 \cdot 6.250 \cdot \sin\left(\frac{45}{2}\right) \rightarrow \underline{P = 4.783,5 \text{ daN}}$$

$$M_f = \frac{P \cdot l}{16} = \frac{4.783,5 \cdot 373,1}{16} \rightarrow \underline{M_f = 1,12 \cdot 10^5 \text{ daN} \cdot \text{m}}$$

$$A_c = 2 \cdot \text{espesor} \cdot \left(\text{espesor} + \frac{d_2 - D_1}{2}\right) = 2 \cdot 8 \cdot \left(8 + \frac{1100 - 950}{2}\right) \rightarrow \underline{A_c = 1.328 \text{ mm}^2}$$

$$h_G = \frac{\left(\frac{\left(\text{espesor} + \frac{d_2 - D_1}{2}\right)}{2}\right) \cdot A_c + \left(\frac{\text{espesor}}{2}\right) \cdot \text{espesor} \cdot (b - 2 \cdot \text{espesor})}{A_c + \text{espesor} \cdot (b - 2 \cdot \text{espesor})} =$$

$$h_G = \frac{41,5 \cdot 1.328 + 4 \cdot 8 \cdot (100 - 16)}{1.328 + 8 \cdot (100 - 16)} = \frac{55.112 + 2.688}{2.000} \rightarrow \underline{h_G = 28,9 \text{ mm}}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot (8 \cdot 83^3 \cdot 2 + 84 \cdot 8^3) + 83 \cdot 8 \cdot 2 \cdot (41,5 - 28,9)^2 + 84 \cdot 8 \cdot (4 - 28,9)^2$$

$$I = 756.967 + 210.833 + 416.646 \rightarrow \underline{I = 1.393.446 \text{ mm}^4}$$

$$W = \frac{I}{h_{CGmax}} = \frac{1.393.446}{(83 - 28,9)} \rightarrow \underline{W = 25.757 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} = \frac{1,12 \cdot 10^5}{25.757} \rightarrow \underline{\sigma_f = 4,35 \text{ MPa}} \quad \tau = \frac{P/2}{A_c} = \frac{4.783,5/2}{1.328} \rightarrow \underline{\tau = 1,80 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{4,35^2 + 3 \cdot 1,80^2} \rightarrow \underline{\sigma_{eq} = 53,5 \text{ MPa}}$$

$$CS \text{ (llanta)} = \frac{260}{\sigma_{eq}} = \frac{260}{53,5} \rightarrow \underline{CS \text{ (llanta)} = 4,86 \text{ (sobredimensionado)}}$$

Se estima el **espesor = 12mm** // Se estima la **profundidad = 50mm**

$$I_{min} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 50 \cdot 12^3 \rightarrow \underline{I_{min} = 7.200 \text{ mm}^4}$$

$$A = b \cdot h = 12 \cdot 50 \rightarrow \underline{A = 600 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Radio de giro (K)} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{7.200}{600}} \rightarrow \underline{K = 3,46 \text{ mm}}$$

$$L_{crit} = \frac{D1 - d6}{2} = \frac{950 - 420}{2} \rightarrow \underline{L_{crit} = 265 \text{ mm}}$$

$$\lambda = \frac{L_{crit}}{K} = \frac{265}{3,46} \rightarrow \underline{\lambda = 76,59 \text{ mm}}$$

$$\sigma = \frac{P \cdot 1,6}{A} = \frac{4783,5 \cdot 1,6}{600} \rightarrow \underline{\sigma = 127,5 \text{ MPa}}$$

$$CS \text{ (radios)} = \frac{260}{\sigma} = \frac{260}{127,5} \rightarrow \underline{CS \text{ (radios)} = 2,03}$$

Project Name

Poleas

Diámetro

Carga total [daN] Grupo

D cable [mm] Cable/Poleas

Nº de ramales Poleas

Coefficiente h1

Coefficiente h2

Diámetro Polea [mm]

Peso Polea [mm]

d2 [mm] = 1100 b [mm] = 100 d6 [mm] = 420

Espesor de la llanta

Espesor estimado [mm]

Número de radios

Límite de elasticidad [MPa]

Coef. Seguridad (2 - 2.5)

Espesor de los radios

Espesor estimado [mm]

Profundidad estimada [mm]

Límite elasticidad [MPa]

Coef. Seguridad

Ganchos

Cucharas

Spreader

Cables

Poleas

Aparejo

Tambor

Motores

Rodadura

Carril

© Ignacio Baraza Cebrián (2020)

Transportes y Mantenimiento Industrial

Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 67: Cálculo de Poleas. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Aparejos

Para el cálculo de **Aparejos** se estudia el **Ejercicio B4.2**:

Datos

Aparejos de poleas continuas

Nº poleas = 6

D_{poleas} = 140 mm

b_{poleas} = 160 mm

Carga = 24.000 daN

Resolución

$$Q_{\text{polea}} = \frac{Q_{\text{util}}}{\text{poleas}} = \frac{24.000}{6} \rightarrow \underline{Q_{\text{polea}} = 4.000 \text{ daN}}$$

$$\underline{R_A = R_B = 12.000 \text{ daN}}$$

$$W = \frac{I}{r} = \frac{\pi \cdot 140^3}{32} \rightarrow \underline{W = 2,69 \cdot 10^5 \text{ mm}^3}$$

$$A_c = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 70^2 \rightarrow \underline{A_c = 15.393,8 \text{ mm}^2}$$

$$V_{\text{max}} = Q_{\text{total}}/2 = 24.000/2 \rightarrow \underline{V_{\text{max}} = 12.000 \text{ daN} \cdot \text{m}}$$

$$M_{\text{max}} = R_A \cdot 510 - (Q_{\text{total}}/6) \cdot [(510 - 425) + (510 - 255) + (510 - 85)]$$
$$\underline{M_{\text{max}} = 3.060.000}$$

Punto C

$$\sigma_t = \frac{M_t}{W} = \frac{3,06 \cdot 10^6}{2,69 \cdot 10^5} \rightarrow \underline{\sigma_t = 113,7 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{113,7^2} \rightarrow \underline{\sigma_{\text{eq}} = 113,7 \text{ MPa}}$$

Punto A

$$\tau = \frac{Q_{\text{total}}/2}{A_c} = \frac{24.000/2}{15.393,8} \rightarrow \underline{\tau = 7,8 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{3 \cdot \tau^2} = \sqrt{3 \cdot 7,8^2} \rightarrow \underline{\sigma_{\text{eq}} = 13,5 \text{ MPa}}$$

Project Name

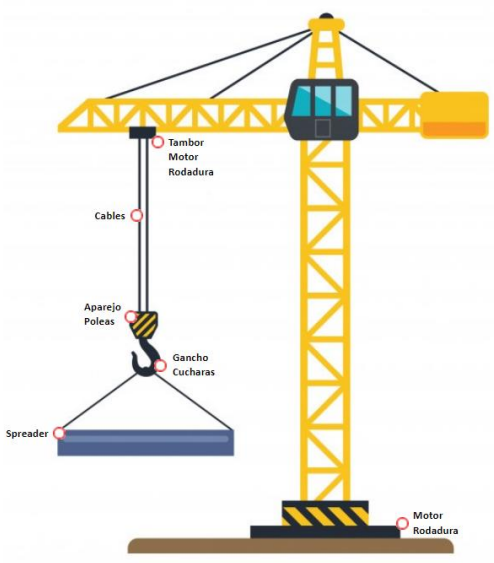
Home

Menu

Search

Settings

Help



Ganchos

Cucharas

Spreader

Cables

Poleas

Aparejo

Tambor

Motores

Rodadura

Carril

Aparejos

Q total [daN] 24000

Di (polea) [mm] 140

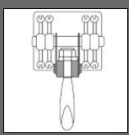
Peso polea [daN] 0

Caña (gancho) [mm] 100

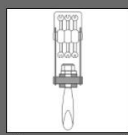
Anchura polea [mm] 160

Material traviesa F114

Tensión límite [MPa] 700

☐ Aparejo de traviesa simple
 

Nº Poleas

☒ Aparejo de poleas continuas
 

6 poleas

σ equivalente [MPa]

σ equivalente A [MPa] 113.6

σ equivalente C [MPa] 13.5

© Ignacio Baraza Cebrián (2020)

Transportes y Mantenimiento Industrial

Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 68: Cálculo del Aparejo. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Tambor

En el caso de los **Tambores** se prosigue con el **Ejercicio B5.1**:

Datos

Tambor de doble ramal
Carga total (peligrosa) = 3.000 daN (sin considerar elementos suspendidos)
Cable Anti giratorio
Resistencia cable = 180 kg/mm²
Frecuencia aproximada igual de carga pequeñas, medianas y máximas
Duración cable: 12.500h
 $\sigma_{\text{acero}} = 160 \text{ MPa}$
Altura de elevación = 6 m

Resolución

Tabla B2.17 → **Grupo M7**

Tabla B2.18 → **$K_c = 0,375$**

Tabla B2.19 → **$\eta = 0,99 / i = 2$**

Considerando 2 ramales

$$S = \frac{Q_u}{i \cdot \eta} = \frac{3.000}{2 \cdot 0,99} \rightarrow \underline{\underline{S = 1.151,15 \text{ daN}}}$$

$$d_{\text{cable}} = K_c \cdot \sqrt{S} = 0,375 \cdot \sqrt{1.151,15} \rightarrow \underline{\underline{d_{\text{cable}} = 14,59 \text{ mm} \rightarrow 15 \text{ mm}}}$$

$$d_{\text{tambor}} = d_{\text{cable}} \cdot h_1 \cdot h_2 = 15 \cdot 25 \cdot 1 \rightarrow \underline{\underline{d_{\text{tambor}} = 375 \text{ mm}}}$$

$$L_{\text{cable}} = \text{altura elevación} \cdot n^{\circ} \text{ ramales} = 6.000 \cdot 2 \rightarrow \underline{\underline{L_{\text{cable}} = 12.000 \text{ mm}}}$$

$$L_{\text{espira}} = \pi \cdot d_{\text{tambor}} = \pi \cdot 375 \rightarrow \underline{\underline{L_{\text{espira}} = 1.178,06 \text{ mm}}}$$

Se consideran **dos espiras muertas...**

$$N^{\circ} \text{ espiras} = \frac{L_{\text{cable}}/2}{L_{\text{espira}}} + \text{espiras muertas} = \frac{6.000}{1.178} + 2 \rightarrow (\text{x2 ramales}) \underline{\underline{N^{\circ} \text{ espiras} = 12}}$$

$$L_{\text{tambor}} = n^{\circ} \text{ espiras} \cdot \text{paso} = 12 \cdot 18 \rightarrow \underline{\underline{L_{\text{tambor}} = 216 \text{ mm}}}$$

Project Name

Tambor

Cables

Q total a elevar [daN]

3000

Diámetro Tambor [mm]

375

Grupo

M7/4m

Diámetro cable [mm]

15

Coefficiente h1

25

Coefficiente h2

1

Nº de ramales

2

Altura de elevación [m]

6

Tensión trabajo [MPa]

160

S [daN]

1515,15

Eje Tambor

Diámetro estimado [mm]

Longitud estimada [mm]

Esfuerzo límite (F-114) [MPa]

700

Esfuerzo equivalente de trabajo [MPa]

Pared del Tambor

Espesor del costado [mm]

Diámetro del cubo [mm]

Esfuerzo a flexión límite [MPa]

100

Esfuerzo equivalente de trabajo [MPa]

Ganchos

Cucharas

Spreader

Cables

Poleas

Aparejo

Tambor

Motores

Rodadura

Carril

© Ignacio Baraza Cebrián (2020)

Transportes y Maquinación Industrial

Universidad de Zaragoza Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 70: Cálculo del Tambor. Nuevo programa de Grúas-Elementos

En el caso del eje del tambor se considera $\varnothing_e = 100 \text{ mm}$...

$$L_{\text{estimada}} = 216 + 2 \cdot 17 \rightarrow \underline{L_{\text{estimada}} = 250 \text{ mm}}$$

$$M_f = S \cdot 20 = 1.515,15 \rightarrow \underline{M_f = 30.303 \text{ daN} \cdot \text{mm}}$$

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 100^3}{32} \rightarrow \underline{W = 98.172 \text{ mm}^3}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 100^2}{4} \rightarrow \underline{A = 7.853,75 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} = \frac{30.303}{98.171} \rightarrow \underline{\sigma_f = 0,31 \text{ daN/mm}^2}$$

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{1.505,15}{7.853,75} \rightarrow \underline{\tau = 0,19 \text{ daN/mm}^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{0,31^2 + 3 \cdot 0,19^2} \rightarrow \underline{\sigma_{eq} = 4,5 \text{ MPa (menor que 700 MPa)}}$$

Para la pared se estima **espesor de pared = 6 mm // $\varnothing_{\text{eje}} = 100 \text{ mm}$...**

$$H = 10\% \cdot S = 10\% \cdot 1.515,15 \rightarrow \underline{H = 151,52 \text{ daN}}$$

$$\sigma_f = 14,4 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_M}{D}\right) \cdot \frac{H}{W^2} = 14,4 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{100}{375}\right) \cdot \frac{151,52}{6^2}$$

$$\underline{\sigma_f = 49,7 \text{ MPa (menor que 100 MPa)}}$$

Tambor

Cables

Q total a elevar [daN] 3000

Grupo M7/4m

Diámetro cable [mm] 15

Coefficiente h1 25

Coefficiente h2 1

Nº de ramales 2

Altura de elevación [m] 6

Tensión trabajo [MPa] 160

Diámetro Tambor [mm] 375

Espesor de pared [mm] 6

Paso 18

Número de espiras 12

Longitud tambor [mm] 219

S [daN] 1515,15

Eje Tambor

Diámetro estimado [mm] 100

Longitud estimada [mm] 250

Esfuerzo límite (F-114) [MPa] 700

Esfuerzo equivalente de trabajo [MPa] 38.7

Pared del Tambor

Espesor del costado [mm] 6

Diámetro del cubo [mm] 100

Esfuerzo a flexión límite [MPa] 100

Esfuerzo equivalente de trabajo [MPa] 49.8

© Ignacio Baraza Cebrián (2020) Transportes y Manutención Industrial Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 71: Cálculo del Tambor. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Motores

En cuanto al ejercicio relativo a los **Motores** se toma como referencia el **Ejercicio B8.1**:

Datos

$V_{\text{elevación}} = 20 \text{ m/min}$
 $V_{\text{traslación}} = 80 \text{ m/min}$
 $Q_{\text{útil}} = 5.000 \text{ daN}$
 $Q_{\text{grúa}} = 5.000 \text{ daN}$
 $D_{\text{tambor}} = 400 \text{ mm}$
 $\eta = 0,85$

Resolución

$$P_{\text{elev}} = \frac{Q \cdot v_{\text{elevación}}}{4.500 \cdot \eta} = \frac{5.000 \cdot 20}{4.500 \cdot 0,85} \rightarrow \underline{P_{\text{elev}} = 26 \text{ CV}}$$

Tabla B8.3 $\rightarrow \underline{P_{\text{elev}} = 30 \text{ CV} / 1\text{L S2 156-4AA2}}$

$$M_{\text{max}} = \text{Par}_{\text{nom}} \cdot 4 = 148 \cdot 4 \rightarrow \underline{M_{\text{max}} = 592 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

$$M_{\text{freno}} = 2,5 \cdot M_{\text{max}} = 2,5 \cdot 592 \rightarrow \underline{M_{\text{freno}} = 1.480 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

Para el freno (mordaza)...

$$\text{tg}\psi = 0,3 \quad // \quad p = 10^6 \text{ N/m}^2 \quad // \quad b = 50 \text{ mm} \quad // \quad r = 200 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} = 0,78$$

$$M = 4 \cdot b \cdot r^2 \cdot p \cdot \text{tg}\psi \cdot \alpha = 4 \cdot 0,05 \cdot 0,2^2 \cdot 10^6 \cdot 0,3 \cdot 0,78$$

$$\underline{M = 1.872 \text{ N}\cdot\text{m} \text{ (OK, mayo que } M_{\text{freno}})}$$

En cuanto a la inercia...

Tabla B8.3 $\rightarrow \underline{n_2 = 1.450 \text{ rpm}}$

$$D_{\text{tambor}} = 400 \text{ mm} \quad // \quad R_{\text{tambor}} = 200 \text{ mm}$$

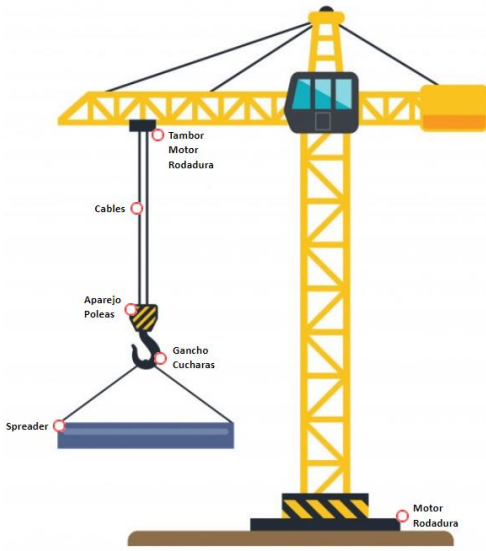
$$w_{\text{tambor}} = \frac{v_{\text{elev}}}{R_{\text{tambor}}} = \frac{20}{0,2} \rightarrow \underline{w_{\text{tambor}} = 100 \text{ min}^{-1}}$$

$$\text{rpm}_{\text{tambor}} = \frac{100}{2 \cdot \pi} \rightarrow \underline{\text{rpm}_{\text{tambor}} = 15,92 \text{ rpm}}$$

Suponemos $n(\text{st}) = n(r) = 2$

$$i = \frac{n_2}{\text{rpm}_{\text{tambor}}} = \frac{1450}{15,92} \rightarrow \underline{i = 91}$$

Project Name



Ganchos

Cucharas

Spreader

Cables

Poleas

Aparejo

Tambor

Motores

Rodadura

Carril

Motores

Elevación ▼

Datos

G2 (Q elevar) [daN]

V [m/min]

R (rend mecánico)

G1 [daN]

W Selección poleas ▼

ta [s]

Rel. transmisión

Diam Tabor [mm]

Nº ramales (st)

Nº ramales (r)

Comprobación del par de arranque

Motor

Tipo	<input type="text" value="156-4"/>	Par Nominal [Nm]	<input type="text" value="148"/>
Pot. Nominal [CV]	<input type="text" value="30"/>	Par Máximo [Nm]	<input type="text" value="592"/>
Vel. Nominal [rpm]	<input type="text" value="1450"/>	Mto. Inercia [kg·m²]	<input type="text" value="0.43"/>

Relación de transmisión

i

Freno Mordaza

b [mm]

r [mm]

Freno Disco

re [mm]

ri [mm]

alfa [grad]

Mfreno [Nm]

Mfreno [Nm]

© Ignacio Baraza Cebrián (2020)

Transportes y Mantenimiento Industrial

Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 72: Cálculo del Motor y Frenos. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Rodadura

Para comprobar el cálculo de la **Rodadura** se comparará con el **Ejercicio B7.1**:

Datos

$Q_{\text{gancho}} = 150 \text{ daN}$
 $Q_{\text{útil}} = 35.000 \text{ daN}$
 $Q_{\text{carro}} = 2.500 \text{ daN}$
 $Q_{\text{estructura}} = 32.000 \text{ daN}$
 $\text{Resis}_{\text{min}} = 690 \text{ N/mm}^2$
 Trabaja el 50% del tiempo
 Llantón 50.40

Resolución (carro)

$Q_{\text{total}} = Q_{\text{útil}} + Q_{\text{gancho}} = 35.000 + 150 \rightarrow \underline{Q_{\text{total}} = 35.150 \text{ daN}}$
 $R = (Q_{\text{total}} + Q_{\text{carro}})/4 = (35.150 + 2.500)/4 \rightarrow \underline{R = 9.412,5 \text{ daN}}$
 Tabla B7.1 $\rightarrow \underline{P_{\text{adm}} = 7 \text{ N/mm}^2}$
 Tabla B7.2 $\rightarrow \underline{C_2 = 0,91}$ (d_{rueda} estimado = 400 mm)
 Tabla B7.3 $\rightarrow \underline{C_3 = 0,9}$
 Tabla B6.1 $\rightarrow \underline{(k - 2 \cdot r_1) = 46 \text{ mm}}$

$$d_{\text{rueda}} (\text{estimado}) > \frac{R}{P_{\text{adm}} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (k - 2 \cdot r_1)} = \frac{94.125}{7 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 46} \rightarrow \underline{d_{\text{rueda}} = 356,91 \text{ mm (OK)}}$$

Project Name

Rodadura

Datos

Carro/Grúa: Carro

Q Útil [daN]: 35000 Q Carro [daN]: 2500

Q Estructura [daN]: 32000 Q Motor [daN]: 150

Resistencia Rueda Portadora [N/mm2]: 740

Diámetro estimado [mm]: 400

Velocidad (carro ó grúa) [m/min]: 80 Carro

Duración del mecanismo [% en h]: >40% - 63% Carro

Número de ruedas (del carro): 4 Carro

Selección del carril: Llantón - 50.40

Rodadura-Carro

Padm [MPa]: 7.0 C2: 0.91 C3: 0.90

D rueda [mm]: 329

Carga/rueda [daN]: 9412.50

Rodadura-Grúa

Padm [MPa]: C2: C3:

D rueda [mm]:

Carga/rueda [daN]:

© Ignacio Baraza Cebrián (2020) Transportes y Mantenimiento Industrial Universidad de Zaragoza. Máster en Ingeniería Industrial

Ilustración 73: Cálculo de la Rodadura. Nuevo programa de Grúas-Elementos

Carril

Para la comparativa de **Carril** se emplea, el **Ejercicio B6.3**:

Datos (carro)

$$Q_{\text{puente}} = 1.000 \text{ daN}$$

$$Q_{\text{carga}} = 5.020 \text{ daN}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$\text{Burbach-120} \rightarrow \text{Tabla B6.2}$$

$$J_x = 1.420 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 249 \text{ cm}^3$$

$$A = 129 \text{ cm}^2$$

$$K - 2r1 = 100 \text{ mm}$$

Resolución

$$P = Q_{\text{util}} + \frac{Q_{\text{puente}}}{2} = 5.020 + \frac{1.000}{2} \rightarrow \underline{P = 5.520 \text{ daN}}$$

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{5.520 \cdot 10^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1.420 \cdot 10^{-8}} \rightarrow \underline{\delta = 0,38 \text{ m} = 380 \text{ mm}}$$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{L[\text{mm}]}{1.000} = \frac{10.000}{1.000} \rightarrow \underline{\delta_{\text{max}} = 10 \text{ mm (NOK, usar otro perfil de mayor inercia)}}$$

The screenshot shows the 'Carril' software interface. On the left, a diagram of a crane is displayed with labels for various components: Ganchos, Cucharas, Spreader, Cables, Poleas, Aparejo, Tambor, Motores, Rodadura, and Carril. The main area on the right contains a 'Datos' section with input fields for 'Elevado/Suelo' (set to 'Elevado'), 'Selección del carril' (set to 'Burbach - A120'), 'Q Útil [daN]' (5020), 'Q Carro [daN]' (0), 'Q Estructura [daN]' (1000), 'Q Motor [daN]' (0), 'E [GPa]' (210), 'Longitud [mm]' (10000), 'I [cm4]' (1420), 'Em [GPa]' (14,5), 'Ruedas' (4), and 'b [mm]' (220). Below this, the 'Comprobación a flexión' section shows 'δ max [mm]' (10) and 'f [mm]' (386). The 'Comprobación a resistencia' section shows 'p [MPa]' (0.19), 'η' (73.42), and 'σ eq [MPa]' (6.61). At the bottom, a list of components is shown: Ganchos, Cucharas, Spreader, Cables, Poleas, Aparejo, Tambor, Motores, Rodadura, and Carril.

Ilustración 74: Cálculo para el Carril. Nuevo programa de Grúas-Elementos



ANEXO IV: LISTA DE TÉRMINOS

Terminología

A: Tramo A (referido al Spreader)

A: Sección de los brazos (poleas)

A_c : Área cortante

A_p : Área Perfil (viga)

a: distancia de la carga al apoyo

B: Tramo B (referido al Spreader)

b (i): base

b: Ancho de la mordaza (freno)

be (i): Base Exterior

bi (i): Base Interior

b_1 : Coeficiente de Forma de Garganta

b_2 : Coeficiente de Forma de Cable

C: Tramo C (referido al Spreader)

CS (i) = Coeficiente de Seguridad

C_1 : Coeficiente del material

C_2 : Coeficiente del número de revoluciones

C_3 : Coeficiente de vida de la rueda

D_{POLEA} : Diámetro de la Polea

D_{TAMBOR} : Diámetro del Tambor

d_{CABLE} : Diámetro del Cable

d_{RUEDA} : Diámetro de Rueda

d_{TAMBOR} : Diámetro del Tambor

d: Diámetro del eje

E: Módulo de elasticidad del material

E_m : Módulo de elasticidad del hormigón

f: flecha [m]

G_1 : Peso Muerto

$h(i)$: Altura

$h_e(i)$: Altura Exterior

H_{elev} : Altura de Elevación

$h_i(i)$: Altura Interior

i : Relación de transmisión

i : subíndice

I_i : Inercia

K_c : Coeficiente

L_i : longitud

l : longitud de elemento

L_{cable} : Longitud del Cable

$L_{espiral}$: Longitud de la Espiral (Tambor)

L_{TES} : Longitud Testero

L_{VPPAL} : Longitud Viga Principal

M_i : Momento de Giro

M_{freno} : Momento de Frenada [Nm]

$M_{max(motor)}$: Par Máximo del Motor

M_{f_max} : Momento Máximo de Flexión [MPa]

n : Coeficiente de Tipo de Flexión

$n_r(st)$: Número de ramales a la salida del tambor

$n_r(a)$: Número de ramales a la salida del aparejo

n_1 : Velocidad de Giro (del motor) [rpm]

S : tracción del cable [daN]

P : Presión

P_g : Peso Admisible

P_{elev} : Potencia de Elevación

P_{esp} : Presión específica [MPa]

P_{VPPAL} = Peso Vigas Principales

P_{TEST} = Peso Testeros

Q_1 : Carga en el extremo (tambor)

Q_2 : Carga en el otro extremo (tambor)

Q_{acum} : Carga Acumulada

$Q_{APAREJO}$ = Peso del Aparejo

$Q_{BRAZOS\ SPREADER}$: Carga de los brazos del Spreader (sin los anclajes)

Q_{cont} : Carga Contenedor

Q_e : Carga a Elevar

Q_{GANCHO} : Peso del Gancho

Q_{POLEA} = Peso de la Polea

$Q_{SPREADER}$: Carga Spreader

Q_u : Carga Útil

r : radio (freno)

R_1 : Fuerza Resistente en el punto 1

R_1' : Fuerza soportada en la Rueda 1

R_2 : Fuerza Resistente en el punto 2

R_2' : Fuerza soportada en la Rueda 2

t_a : Tiempo de Aceleración

V_{elev} : Velocidad de Elevación

V_{tras} : Velocidad de Traslación

w : Factor de pandeo (poleas)

W_i : Momento Resistente

W : Parámetro de Traslación en cojinetes

X_1 : Distancia desde el origen al apoyo (de la grúa)

X_2 : Distancia desde el origen al apoyo (de la grúa)

Z_p : Seguridad Mínima del Cable



Terminología Letras Griegas

σ_{VM} : Tensión de Von Mises

σ_f : Tensión Normal

σ_e : Esfuerzo de Extensión

σ : Esfuerzo

σ_y : Tensión

σ_f : Tensión a flexión

τ : Tensión Tangencial

ρ : Densidad

η : Rendimiento

ψ : Descomposición del ángulo del freno [°]

α : Ángulo del freno [°]

Υ : Ángulo entre radios [°]



Unidades de Medida

[m]: metros

[daN]: decaNewton

[mm²]: milímetros cuadrados

[mm³]: milímetros cúbicos

[mm⁴]: milímetros cuadráticos

[MPa]: megaPascuales